



PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro

INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

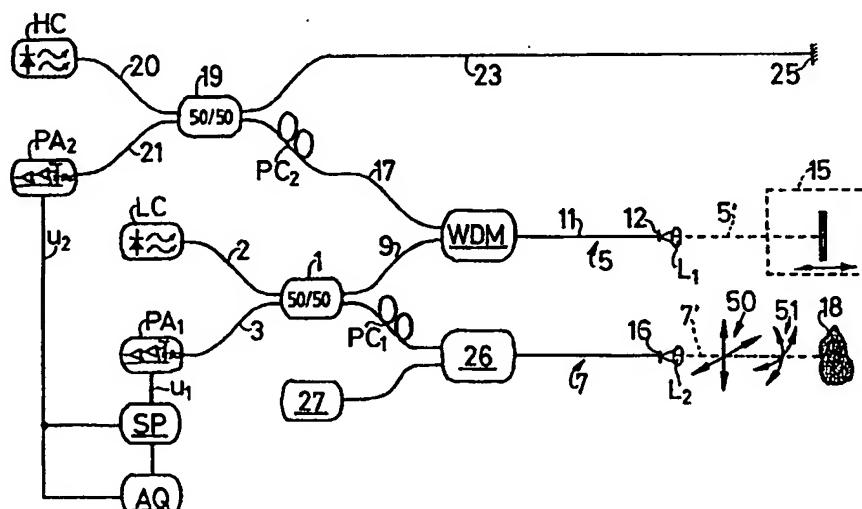
(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : G01B 9/02, G01N 21/45		A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 99/22198
			(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 6. Mai 1999 (06.05.99)
(21) Internationales Aktenzeichen:	PCT/CH98/00456		
(22) Internationales Anmeldedatum:	23. Oktober 1998 (23.10.98)		
(30) Prioritätsdaten:	2470/97	23. Oktober 1997 (23.10.97)	CH
(71) Anmelder (<i>für alle Bestimmungsstaaten ausser US</i>):	ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE DE LAUSANNE [CH/CH]; Laboratoire d'Optique Appliquée, Ecublens, CH-1015 Lausanne (CH).		
(72) Erfinder; und			
(75) Erfinder/Anmelder (<i>nur für US</i>):	LINDGREN, Goesta, Fredrik [SE/SE]; Luthens Gränd 4B, S-118 66 Stockholm (SE). SALATHE, René, Paul [CH/CH]; Chemin de la Plantaz 25, CH-1024 Ecublens (CH). WAELETTI, Rudolf [CH/CH]; Hubacherweg 33, CH-3097 Liebefeld (CH).		
(74) Anwalt:	ROSHARDT, Werner, A.; Keller & Partner Paten- tanwälte AG, Zeughausgasse 5, Postfach, CH-3000 Bern 7 (CH).		

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR MEASURING THE OPTICAL PROPERTIES OF TRANSPARENT AND/OR DIFFUSIVE OBJECTS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR MESSUNG VON OPTISCHEN EIGENSCHAFTEN TRANSPARENTER UND/ODER DIFFUSIVER GEGENSTÄNDE

(57) Abstract

The inventive method for measuring the optical properties of transparent and/or diffusive objects (18), especially their reflection profile, uses two coupled interferometers. Said coupled interferometers are operated with two beams of different coherence lengths. The object to be measured (18) is exposed to the beam with the short coherence length. A path length variation unit (15) is located in the common branch of the two interferometers. This unit impresses a double frequency on both beams, and this double frequency is then evaluated. A device for carrying out the method can be used especially as a reflectometer, preferably for applications in the area of surface diagnosing, optical tomography and photometry, as a high-dynamic means of determining optical properties with a high signal-noise ratio.



(57) Zusammenfassung

Das Verfahren zur Messung optischer Eigenschaften transparenter und/oder diffusiver Gegenstände (18), insbesondere deren Reflexionsprofil, arbeitet mit zwei gekoppelten Interferometern. Die gekoppelten Interferometer werden mit zwei Strahlungen unterschiedlicher Kohärenzlänge betrieben. Der auszumessende Gegenstand (18) wird mit der Strahlung kleiner Kohärenzlänge bestrahlt. Im gemeinsamen Zweig beider Interferometer ist eine Weglängenvariationseinheit (15) angeordnet, welche beiden Strahlungen eine Dopplerfrequenz aufprägt, welche ausgewertet wird. Eine das Verfahren verwirklichende Vorrichtung kann insbesondere als Reflektometer für bevorzugte Anwendungen im Bereich der Oberflächendiagnostik, der optischen Tomographie und der Photometrik verwendet werden, mit welcher optische Eigenschaften mit einer hohen Dynamik bei einem grossen Signal-Rausch-Verhältnis bestimmbar sind.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

Verfahren und Vorrichtung zur Messung von optischen Eigenschaften transparenter und/oder diffusiver Gegenstände

15 Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Messung optischer Eigenschaften transparenter und/oder diffusiver Gegenstände, insbesondere deren Reflexions- und/oder Transmissionsfaktors als Abstandfunktion (Reflexions- bzw. Transmissionsprofil). Unter den messbaren optischen Eigenschaften werden die aus diesen Profilen ableitbaren Größen verstanden; wie z.B. der (optische) Abstand von Oberflächen, Grenzflächen oder Störstellen voneinander, der Brechungsindex des Gegenstandsmaterials, die polarisierenden Eigenschaften des Materials sowie dessen Absorptions- und Diffusionskoeffizient.

Die Transparenz von Gegenständen hängt von deren wellenlängenabhängigen 25 Schwächungskoeffizienten α [cm^{-1}] und deren Dicke bzw. der vorgegebenen Messstrecke d ab. Als transparent werden Gegenstände bezeichnet, deren Transmissionsfaktor $T = \exp(-\alpha \cdot d)$ noch innerhalb des Messbereichs der unten beschriebenen Interferometer liegt, wobei die Transmission bei den unten beschriebenen Interferometern T^2 infolge des "Hin- und Rückweges" der Strahlung ist. In diffusiven Gegenständen wird Strahlung stark gestreut,

nicht notwendigerweise absorbiert. Beispielsweise sind als diffusive Gegenstände Milch-glasscheiben, Delrin, organische Gewebe (Haut, menschliche und tierische Organe, Pflan-zenteile etc.) anzusehen.

Darstellung der Erfindung

5 Aufgabe der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Vorrichtung, insbesondere als Reflektometer für bevorzugte Anwendungen im Bereich der Oberflächendiagnostik, der optischen Tomogra-
phie und der Photometrik zu schaffen, mit welcher optische Eigenschaften mit einer hohen
Genauigkeit, hoher Dynamik sowie einem kleinstmöglichen, lediglich durch Schrotrauschen
10 begrenzten Rauschpegel bestimmbar sind.

Lösung der Aufgabe

Die Aufgabe wird dadurch gelöst, dass mit zwei gekoppelten Interferometern gear-
beitet wird. Eines der beiden Interferometer hat eine Strahlungsquelle kleiner Kohärenzlän-
ge und das andere eine Strahlungsquelle mit einer grossen Kohärenzlänge. Die verschie-
15 denen Arme jedes Interferometers sind derart ausgebildet, dass ihre optische Weg-
längendifferenz innerhalb der Kohärenzlänge der betreffenden Strahlung liegt. Eine kleine
Kohärenzlänge wird von einer Strahlungsquelle mit einer grossen spektralen Breite ihrer
Strahlung erhalten und eine grosse Kohärenzlänge von einer Strahlungsquelle mit einer
schmalbandigen Strahlung. Der auszumessende Gegenstand ist im Messzweig des "breit-
20 bandigen" Interferometers angeordnet und ein feststehender Spiegel in einem Zweig des
"schmalbandigen" Interferometers. Ein gemeinsamer Zweig als Referenzzweig beider Inter-
ferometer beinhaltet eine Weglängenvariationseinheit.

Die Weglängenvariationseinheit variiert periodisch die Weglänge im Referenzzweig
und zwar mit einer derartigen Geschwindigkeit, dass Messsysteme mit der hierbei erzeug-
25 ten Dopplerverschiebung der Strahlungsfrequenz arbeiten können.

Eine Auswertung der Interferenzsignale des "schmalbandigen" Interferometers er-
laubt die Weglängenänderungen im Referenzzweig und damit die positionsartige Zuord-
nung der Signale im Messzweig vorzunehmen. Bekannte Methoden der Positionsbestim-
mung des Weglängenvariationselementes, beispielsweise durch Encoder oder durch opti-

sche Hilfsstrahlen zur Ermittlung der Winkelposition bei z. B. einem rotierenden Würfel, werden hierdurch überflüssig.

Durch eine bevorzugte Auswertung der Phasenlage zwischen den beiden Interferenzsignalen, erzeugt von der Strahlungsquelle hoher bzw. kleiner Interferenzlänge, ist eine 5 signifikante Genauigkeitserhöhung bei der augenblicklichen Weglänge des Referenzwegs möglich. Die Dopplerverschiebungsfrequenzen können hierzu einander angeglichen werden. Eine derartige Angleichung kann elektrisch oder auch optisch erfolgen, wie unten ausgeführt wird.

Durch die Verwendung zweier Interferometer mit Strahlungen unterschiedlicher Kohärenzlängen wird im Messzweig nur Strahlung ausgewertet, welche innerhalb der kurzen Kohärenzlänge liegt. In diffusiven Stoffen, wie z. B. biologischem Gewebe, kann somit wirkungsvoll Streustrahlung eliminiert werden. 10

Arbeitet die erfindungsgemäße Vorrichtung mit wenigstens einer Strahlungsquelle im sichtbaren Spektralbereich (Wellenlänge zwischen 0,4 µm und 0,7 µm), so kann deren 15 Strahlung zur Visualisierung des Messorts als "Zielstrahl" verwendet werden. Als Strahlungsquelle eignen sich hierzu insbesondere Diodenlaser, He-Ne-Laser etc..

Eine beispielsweise Weglängenvariationseinheit wird unten beschrieben. Die dort beschriebene Einheit weist eine nahezu konstante Änderungsgeschwindigkeit auf. Diese Konstanz ist jedoch für den Messvorgang bzw. dessen Auswertung nicht zwingend.

20 Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der untenstehenden Beschreibung.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Nachfolgend werden Beispiele der erfindungsgemäßen Vorrichtung anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein optisches Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur beispielsweise 25 Verwirklichung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 2 eine beispielsweise Weglängenvariationseinheit mit einem rotierenden Würfel der in Figur 1 dargestellten Vorrichtung,

Fig. 3 in der oberen Abbildung eine Weglängendifferenz Δs [mm] über dem Drehwinkel α der in Figur 2 dargestellten Weglängenvariationseinheit mit einer Seitenlänge l_k von 30 mm, einem Abstand e von 13 mm des einfallenden Strahls 5' vom Rotationszen-

trum 37 des Würfels und einem Brechungsindex n des Materials des Würfels von 1,5, wobei die gestrichelten Kurvenwerte Werte angeben, welche mit der in **Figur 2** dargestellten Einheit nicht erreichbar sind, da deren Oberflächen ausgehend von jeweils einer Kante eine teilweise Beschichtung aufweisen; die untere Kurve zeigt 5 die hierzu gehörende Weglängenänderungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit des Drehwinkels α ,

Fig. 4 ein Blockschaltbild der elektronischen Auswerteschaltung der in **Figur 1** dargestellten Vorrichtung,

10 Fig. 5 eine Darstellung beispielsweiser elektrischer Signale, wie sie mit der in **Figur 4** dargestellten elektrischen Schaltungsanordnung beim Ausmessen eines beispielsweisen Messgegenstands erhältlich sind,

Fig. 6 eine Darstellung einer Schaltungsanordnung für die Signalauswertung, wobei die Dopplerfrequenzen $f_{\text{Doppler, LC}}$ und $f_{\text{Doppler, HC}}$ elektronisch einander angeglichen werden,

15 Fig. 7 ein optisches Blockschaltbild zur Realisierung des erfindungsgemässen Verfahrens mit nur einer Strahlungsquelle,

Fig. 8 eine Variante zu dem in **Figur 7** dargestellten Blockschaltbild,

Fig. 9, 10 und 11 Varianten zu der in **Figur 1** dargestellten optischen Anordnung,

Fig. 12 ein Detektionssystem mit elektrischer Signaltrennung,

20 Fig. 13 ein Detektionssystem mit optischer Signaltrennung, wie es in den optischen Anordnungen der **Figuren 7 und 8** einsetzbar ist,

Fig. 14 ein Blockschaltbild einer Ausführungsvariante der Vorrichtung gemäss **Figur 1**, welche im Gegensatz zur dortigen Darstellung in einem Auskoppelarm mehrere Detektionseinheiten hat,

25 Fig. 15 ein Blockschaltbild zu einer weiteren Ausführungsvariante gemäss **Figur 14** jedoch mit mehreren Strahlungsquellen und

Fig. 16 einen Querschnitt durch eine Faser, welche als Anordnung mit mehreren Strahlungsquellen wirkt.

Wege zur Ausführung der Erfindung

In Figur 1 ist ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemässen Vorrichtung zur Messung optischer Eigenschaften transparenter und/oder diffusiver Gegenstände unter Verwendung optischer Symbole blockschaltungartig dargestellt. Die in Figur 1 dargestellte 5 optische Anordnung weist zwei optisch gekoppelte Michelson-Interferometer auf. Beide Interferometer sind soweit wie nur möglich unter Verwendung von Strahlungsleitern ausgebildet.

Ein erstes Michelson-Interferometer weist einen Koppler 1 auf, der die Interferometerzweige jeweils zu 50% koppelt. An den Koppler 1 ist über einen Strahlungsleiter 2 eine 10 lichtemittierende Diode [LED] LC als Strahlungsquelle mit einer kurzen Kohärenzlänge (breitbandiges Strahlungsspektrum mit beispielsweise einer "Mittenwellenlänge" λ_{LC} von 1310 nm) angeschlossen. Die Kohärenzlänge einer derartigen Strahlungsquelle beträgt bei den hier verwendeten "Mittenwellenlängen" bevorzugt 10 μm bis 15 μm . Ein Strahlungsdetektor PA₁ für die Strahlung der Strahlungsquelle LC ist über einen Strahlungsleiter 3 mit 15 dem Koppler 1 verbunden. Die Strahlung der Strahlungsquelle LC wird mit dem Koppler 1 in einen Referenzweig 5 und in einen Messzweig 7 annähernd gleichmässig aufgeteilt. Die Strahlung im Referenzweig 5 läuft über einen Strahlungsleiter 9, ein Element WDM, einen weiteren Strahlungsleiter 11 zu dessen Leiterende 12. Die aus dem Leiterende 12 austretende 20 Strahlung wird mit einem Abbildungssystem L₁, welches hier lediglich symbolisch als Einzellinse L₁ dargestellt ist, als freier Strahl 5' auf eine bzw. in eine Weglängenvariationseinheit 15 geführt. Die Strahlung wird dort reflektiert und läuft den gesamten Weg über die Komponenten L₁, 11, WDM und 9 wieder zurück und wird im Koppler 1 mit der vom Gegenstand 18 reflektierten Strahlung überlagert. Dabei entsteht ein Interferenzsignal, sofern 25 die optischen Distanzen im Referenzweig 5 (Distanz zwischen dem Koppler 1 und dem Reflektor 30 der Weglängenvariationseinheit 15) und im Messzweig 7 (Distanz zwischen dem Koppler 1 und einem Strahlung reflektierenden und/oder streuenden Ort im oder auf dem Gegenstand 18) innerhalb der Kohärenzlänge der Strahlung LC gleich gross sind. Die 30 reflektierte und/oder gestreute Strahlung wird im Koppler 1 zur Strahlungsquelle LC und zum kohärent detektierenden Strahlungsdetektor PA₁ hin aufgeteilt, wobei später nur die vom Detektor PA₁ detektierte Strahlung berücksichtigt wird.

Das Element WDM ("fiber optic wavelength division multiplexer, auf deutsch Wellenlängen-Multiplexer bzw. Wellenlängen-Demultiplexer) ist ein optisches Element, welches die im Strahlungsleiter 9 ankommende Strahlung kleiner Kohärenzlänge mit einer Mitten-

wellenlänge λ_{LC} mit der in einem Strahlungsleiter 17 an kommenden Strahlung mit grosser Kohärenzlänge und einer Mittenwellenlänge λ_{HC} vereinigt und beide, von der Weglängenvariationseinheit 15 reflektierte Strahlungen wieder in ihre ursprünglichen Leiter 9 bzw. 17 aufteilt.

5 Die Strahlung im Messzweig 7 durchläuft ausgehend vom Koppler 1 einen Polarisationskontroller PC_1 , wird nach dem Austritt aus dem Strahlungsleiterende 16 mit einer Abbildungsoptik L_2 , welche auch hier durch eine Linse angedeutet ist, in einen freien Strahl 7' geformt und auf bzw. in den auszumessenden Gegenstand 18 geführt und von dessen Oberflächen oder sonstigen, lagemässig auszumessenden, optischen "Störstellen" reflektiert bzw. gestreut. Der Polarisationskontroller PC_1 dient zur Anpassung des Polarisationszustandes der reflektierten Strahlung vom Gegenstand 18 und derjenigen vom Referenzzweig 5 im Zweig 3 zum Detektor PA_1 .

Ein zweites Michelson-Interferometer hat ebenfalls einen Koppler 19, der eine Kopplungsaufteilung von jeweils 50% bewirkt. An den Koppler 19 ist über einen Strahlungsleiter 20 ein Distributed-Feedback Laser als Strahlungsquelle HC angeschlossen. Die Strahlungsquelle HC hat im Gegensatz zur Strahlungsquelle LC eine grosse Kohärenzlänge (schmalbandiges Strahlungsspektrum mit beispielsweise einer "Mittenwellenlänge" λ_{HC} von 1550 nm). Idealerweise entspricht hier die Kohärenzlänge der Strahlungsquelle HC der einfachen bis doppelten maximalen Weglängenänderung in der Einheit 15. Man wählt vorzugsweise die optische Distanz im unten erwähnten Strahlungsleiter 23 gleich der optischen Weglänge bis zum Reflektor 30 der Weglängenvariationseinheit 15 in deren "Mittelstellung" (die Hälfte der maximalen möglichen Weglängenänderung). Es werden hierdurch störende Echos weiterer Grenzflächen optimal unterdrückt. Derartige Echos können jedoch auch durch Entspiegelungsschichten auf den Grenzflächen der optischen Elemente (Linsen L_1 , L_2 etc.), sowie der Strahlungsleiterenden (12, 16 etc.) unterdrückt werden. Eine Unterdrückung kann auch durch schräges Anschleifen der Strahlungsleiterenden erreicht werden. Die tatsächliche Kohärenzlänge dieser Strahlungsquelle HC hängt von ihrer Bauart ab; sie liegt typischerweise zwischen 0,1 m und 100 m.

Ein Strahlungsdetektor PA_2 für die Strahlung der Strahlungsquelle HC ist über einen Strahlungsleiter 21 mit dem Koppler 19 verbunden. Der Messzweig des zweiten Interferometers weist ausgehend vom Koppler 19 einen Polarisationskontroller PC_2 und den Strahlungsleiter 17 auf und geht dann über das optische Element WDM in den bereits oben beschriebenen Referenzzweig 5 über. Ein weiterer Zweig des zweiten Interferometers geht

über einen Strahlungsleiter 23 auf einen feststehenden Spiegel 25, der die Strahlung in den Strahlungsleiter 23 rückreflektiert (Kalibrierzweig). Der feststehende Spiegel 25 ist beispielsweise als metallische Endverspiegelung des Strahlungsleiters 23 ausgebildet. Die vom feststehenden Spiegel 25 reflektierte Strahlung wird der von der Weglängenvariationseinheit 15 reflektierten Strahlung im Koppler 19 überlagert (Erzeugung eines Interferenzsignals). Das überlagerte Signal (Interferenzsignal) wird mit dem Strahlungsdetektor PA₂ detektiert. Der Polarisationskontroller PC₂ dient zur Anpassung des Polarisationszustandes der reflektierten Strahlung vom Zweig 5 (Referenzzweig) mit dem Polarisationszustand der reflektierten Strahlung vom feststehenden Spiegel 25 im Zweig 21 zum Detektor PA₂.

Die beiden oben aufgeführten Strahlungsquellen LC und HC arbeiten hier beispielsweise im infraroten Bereich, d.h. deren Strahlung ist nicht sichtbar. Um dennoch visuell feststellen zu können, welcher Ort des Gegenstands 18 ausgemessen wird oder ausgemessen werden soll, kann der Messstrahl mit einem sichtbaren Strahl vereinigt werden. Diese Vereinigung erfolgt über einen Koppler 26, mit dem die Strahlung eines sichtbaren Lasers, beispielsweise eines He-Ne-Lasers 27, eingekoppelt wird. Als Koppler kann auch eine dem WDM ähnliche Einheit verwendet werden.

Die unten beschriebene Weglängenvariationseinheit 15 erzeugt nun eine (nahezu konstante) Weglängenänderung über ein Zeitintervall. Diese nahezu konstante periodische Weglängenänderung ist jedoch für das erfindungsgemäße Messverfahren nicht zwingend. Infolge dieser Weglängenänderung ergibt sich eine Dopplerfrequenz $f_{Doppler, HC}$ bzw. $f_{Doppler, LC}$ der jeweiligen von der Weglängenvariationseinheit 15 reflektierten Strahlung mit den Wellenlängen λ_{HC} und λ_{LC} von

$$f_{Doppler, HC} = 2 \cdot v_{scan} / \lambda_{HC}$$

bzw.

$$f_{Doppler, LC} = 2 \cdot v_{scan} / \lambda_{LC}$$

wobei v_{scan} die Geschwindigkeit ist, mit der die Weglänge durch die Weglängenvariationseinheit 15 geändert wird. Ist v_{scan} konstant, so ergibt sich auch eine konstante Dopplerfrequenz $f_{Doppler}$. Sollten Nichtlinearitäten in der Weglängenvariationsgeschwindigkeit v_{scan} auftreten, so werden beide Dopplerfrequenzen $f_{Doppler, HC}$ und $f_{Doppler, LC}$ im gleichen Sinne betroffen. Diese Schwankungen werden mittels der unten aufgeführten Differenzenbildung in

der elektronischen Schaltungsanordnung **SP** durch eine Angleichung der beiden Dopplerfrequenzen $f_{\text{Doppler, HC}}$ und $f_{\text{Doppler, LC}}$ minimiert, gemäss

$$f_{\text{Doppler, LC}} - f_{\text{Doppler, HC}} = f_{\text{Doppler, LC}} (1 - k); \quad k = f_{\text{Doppler, HC}} / f_{\text{Doppler, LC}} = \lambda_{\text{LC}} / \lambda_{\text{HC}}.$$

Als Weglängenvariationseinheit **15** kann ein kontinuierlich verschiebbarer Spiegel verwendet werden. In **Figur 2** ist eine Anordnung einer Weglängenvariationseinheit **15**, wie sie beispielsweise in der WO 96/35100 beschrieben ist, mit einem Reflektor **30** in gegenüber **Figur 1** vergrösserter Darstellung gezeigt. Die mit ausgezogenen Strichen dargestellte Darstellung zeigt einen rotierenden Würfel der Einheit **15** gegenüber einer Grundstellung (gestrichelt) um einen Winkel α verdreht. Der Würfel ist durch einen nicht dargestellten Antrieb in Rotation, gemäss Pfeil **33**, versetzbbar. Die Querschnittsfläche **34** des Würfels, in welcher der Strahl **5'** verläuft [innerhalb des Würfels ist der Strahl **5'** mit **41b**, **41c** und **41d** gekennzeichnet], weist vier Ecken **35a** bis **35d** auf und ist in dem hier ausgewählten Beschreibungsbeispiel quadratisch ausgebildet, d. h. der "Würfel" ist ein gerader Zylinder mit quadratischer Grundfläche. Die Rotationsachse **37** ist mit der Achse des Zylinders identisch. Jede Zylindermantelfläche **39a** bis **39d** des Würfels ist mit einer teilweisen Beschichtung **40a** bis **40d** versehen, welche derart ausgewählt ist, dass sie die im Würfel verlaufenden Strahlen **41c** bzw. rückreflektierten Strahlen **41d** der Strahlung optimal reflektiert. Am Reflexionsort des Strahls **41b** bzw. des rückreflektierten Strahls **41c** wird an der hier beispielweise gezeichneten Wand **39b** keine Reflexionsbeschichtung benötigt, da hier Totalreflexion erfolgt. Die Beschichtungen **40a** bis **40d** beginnen jeweils an den Ecken (Kanten) **35a** bis **35d** und erstrecken sich über eine Distanz a in die betreffende Seitenfläche **39a** bis **39d** hinein. Ausgehend von jeder Kante **35a** bis **35d** ist jeweils nur eine der beiden anstossenden Seiten beschichtet, und zwar jeweils nur immer diejenige, auf welcher der reflektierte mit dem einfallenden Strahl einen spitzen Winkel bildet.

Der in den Würfel eintretende Strahl **5'** ist derart geführt, dass er gerade an der in **Figur 2** rechten Kante **42** des Reflektors **30** vorbeiführbar ist. Ein Abstand e von der Reflektorkante **42** ist gerade so gross gewählt, dass er nur geringfügig kleiner als die halbe Würfelkante ist. Bei dem hier gewählten Zahlenbeispiel mit einer Flächenbreite l_k von 30 mm, wird der Strahl **5'** in einem Abstand e von 13 mm von der zentrischen Rotationsachse **37** und in einem Abstand von etwa 3 mm von der Reflektorkante **42** entfernt eingeschossen.

Eine Weglängenveränderung Δs infolge der Rotation des Würfels setzt sich nun aus dem doppelten Weg der sich ändernden Weglängen der Strahlen 5' sowie 41a bis 41e zusammen. Für die Strahlen 41b bis 41d ist zu beachten, dass deren Weglängen durch den Brechungsindex n_e des Mediums, in dem sie verlaufen, erhöht sind. Die Weglänge s ist 5 abhängig vom Drehwinkel α , vom Abstand des Strahleintritts e , vom Brechungsindex n_e und der Flächenbreite l_k der Flächen 39a bis 39d. Die unten berechnete Weglänge s beginnt und endet an der gestrichelten Geraden A-D in **Figur 2**.

$$s = n_e \cdot (41b + 41c + 41d) + \underline{CD} + \underline{AB}$$

Da 41b + 41c = 41d ist, folgt

$$10 \quad s = 2 \cdot n_e \cdot \underline{41d} + \underline{CD} + \underline{AB},$$

wobei die Strecke 41d = $l_k \cdot [1 - (\sin \alpha)^2/n_e^2]^{1/2}$

die Strecke CD

$$15 \quad \underline{CD} = \frac{Z_{CD,1} \cdot Z_{CD,2}}{N_{CD}}$$

mit

$$N_{CD} = n_e \cdot [1 - \sin \alpha^2/n_e^2]^{1/2} + \frac{1}{2}[l_k - l_k \cdot \tan(\alpha/2)] \cdot \tan \alpha,$$

$$Z_{CD,1} = -2 \cdot \sin \alpha^2 \cdot (l_k - n_e \cdot \sin \alpha^{-1} \cdot (1 - \sin \alpha^2/n_e^2)^{1/2}),$$

$$Z_{CD,2} = [l_k/2 + l_k \cdot \tan(\alpha/2)/2 - \cos \alpha^{-1} \cdot [l_k/2 - l_k \cdot \tan(\alpha/2)/2]]$$

$$20 \quad \text{und die Strecke } \underline{AB} = \frac{1}{2} \cdot [l_k - (l_k \cdot \tan(\alpha/2))] \cdot \tan \alpha.$$

Die Parameter e , l_k und n_e lassen sich nun derart optimieren, dass für einen vorgegebenen Winkelbereich α eine annähernd lineare Weglängenänderungsgeschwindigkeit v_{scan} als Wegdifferential erreichbar ist, wie die **Figuren 3** zeigen. Die Weglängenänderung ergibt sich zu

$$25 \quad v_{\text{scan}} = \frac{ds}{dt} = w \cdot \frac{ds}{d\alpha},$$

wobei w die Winkelgeschwindigkeit des rotierenden Würfels ist. Die ermittelte zeitliche Weglängenänderung und die mit den Strahlungsdetektoren PA_1 und PA_2 messbare Differenzfrequenz $f_{Doppler}$ sind über die Relation

$$5 \quad f_{Doppler} = \frac{2 \cdot f_0 \cdot v_{scan}}{c}$$

miteinander verknüpft, wobei f_0 die ursprüngliche Strahlungsfrequenz der Strahlungsquelle HC bzw. LC und c die Lichtgeschwindigkeit ist.

Die Weglängenänderungsgeschwindigkeit v_{scan} ergibt sich zu

$$10 \quad v_{scan} = \frac{Z_{v,1} - Z_{v,2} \cdot Z_{v,3}}{N_{v,1}} - \frac{Z_{v,4} \cdot Z_{v,5}}{N_{v,2}} - Z_1 - 2 \cdot \sin\alpha^2/N_{v,2} \cdot [Z_{v,3} \cdot \cos\alpha + Z_{v,6} \cdot Z_{v,7} \cdot (Z_{v,8} - Z_{v,6})]$$

mit

$$15 \quad Z_{v,1} = \frac{2 \cdot I_k \cdot \cos\alpha \cdot \sin\alpha}{n_e [1 - \sin\alpha^2/n_e^2]^{3/2}} + 2 \cdot \cos\alpha^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot I_k [1 - \tan(\alpha/2)];$$

$$Z_{v,2} = 2 \cdot \cos\alpha \cdot \sin\alpha^3 \cdot [I_k - n_e \cdot \sin\alpha^{-1} \cdot (1 - \sin\alpha^2/n_e^2)^{1/2}];$$

$$Z_{v,3} = I_k/2 \cdot [(1 + \tan(\alpha/2) - \cos\alpha^{-1} \cdot (1 - \tan(\alpha/2))];$$

$$20 \quad N_{v,1} = n_e \cdot (1 - \sin\alpha^2/n_e^2)^{3/2};$$

$$Z_{v,4} = 4 \cdot \cos\alpha \cdot \sin\alpha \cdot (I_k - n_e \cdot \sin\alpha^{-1} \cdot (1 - \sin\alpha^2/n_e^2)^{1/2})$$

$$Z_{v,5} = I_k/2 \cdot [1 + \tan(\alpha/2) - \cos\alpha^{-1} \cdot (1 - \tan(\alpha/2))];$$

$$N_{v,2} = n_e \cdot (1 - \sin\alpha^2/n_e^2);$$

$$Z_1 = \frac{1}{2} \cdot [I_k \cdot \sin(\alpha/2)^2 \cdot \tan\alpha];$$

$$25 \quad Z_{v,6} = n_e \cdot \cot\alpha \cdot \cos\alpha^{-1} \cdot (1 - \sin\alpha^2/n_e^2);$$

$$Z_{v,7} = Z_{v,3} - n_e \cdot \cos\alpha^{-1} \cdot (1 - \sin\alpha^2/n_e^2)^{1/2};$$

$$Z_{v,8} = I_k/4 \cdot [\sin(\alpha/2)^2 + (\sin(\alpha/2)^2 \cdot \sin\alpha^{-1});$$

$$Z_{v,9} = I_k/2 \cdot \sin\alpha^{-1} \cdot \tan\alpha \cdot (1 - \tan(\alpha/2)).$$

Um einen kompakten Aufbau zu erreichen, wird der Abstand des Reflektors 30 von der Rotationsachse 37 des Würfels gerade so gross gewählt, dass ein störungsfreies Vorbeirotieren der Kanten 35a - 35d gegeben ist.

Aus den obigen Berechnungen ist ersichtlich, dass die Weglängenänderungsgeschwindigkeit v_{scan} und damit auch die Dopplerfrequenzen $f_{\text{Doppler, HC}}$ und $f_{\text{Doppler, LC}}$ vom Brechungsindex n_e und vom Abstand des Strahleintritts e bzw. vom Drehwinkel α abhängen. Unter Ausnutzung der Dispersion des Brechungsindexes n_e und/oder durch Vorschalten dispersiver Elemente (Gitter, Prismen, ...), mit denen verschiedene Strahleintritte (Variation von e) für verschiedene Wellenlängen erzeugt werden können, kann erreicht werden, dass die jeweilige Dopplerfrequenz für verschiedene Wellenlängen λ_{HC} und λ_{LC} gleich ausfällt.

Wird auf die Beschichtungen 40a bis 40d verzichtet, so kann gegenüber der Darstellung in **Figur 2** ein grösserer Drehwinkelbereich $\Delta\alpha$ des Würfels ausgenutzt werden. Die für die Interferenz zur Verfügung stehende Intensität ist dann allerdings geringer, aber noch ausreichend, da aufgrund der guten Linearität der Wegdifferenzänderung $\Delta s_{\text{scan}}/t$ eine gute Filtermöglichkeit gegeben ist.

Mehrfachreflexionen, welche neben den in **Figur 2** gezeigten Strahlwegen liegen, stören nicht, da sie aufgrund der guten Blendenwirkung der Einkopplung in den Strahlungsleiter 5 nicht in diesen gelangen.

Im Referenzweg 5 kann die Strahlung auch vollständig in einem Strahlungsleiter geführt werden. Die Weglänge kann in diesem Fall variiert werden, indem z.B. ein Teil des Strahlungsleiters gedehnt oder komprimiert wird. Wird der Strahlungsleiter z.B. um eine Trommel mit piezokeramischem Material gewickelt und der Durchmesser der Trommel durch Anlegen einer sinusförmigen elektrischen Spannung verändert, so erhält man ebenfalls die gewünschte periodische Weglängenänderung. Das Strahlungsleiterende kann mit einer metallischen oder dielektrischen Reflexionsschicht bedampft werden, um die Strahlungsverluste im Referenzweg 5 klein zu halten.

Die Verarbeitung der von den Strahlungsdetektoren PA_1 und PA_2 detektierten Signale wird anhand des Blockschaltbildes in **Figur 4** erklärt. Das Interferenzsignal, erzeugt mit der Strahlungsquelle HC mit der Dopplerfrequenz $f_{\text{Doppler, HC}}$, wird, wie bereits oben ausgeführt, vom Strahlungsdetektor PA_2 detektiert und das Interferenzsignal, erzeugt mit der Strahlungsquelle LC mit der Dopplerfrequenz $f_{\text{Doppler, LC}}$, vom Strahlungsdetektor PA_1 .

Durch die Detektion werden die Signale in eine oszillierende Spannung u_2 bzw. u_1 umgewandelt.

5 Figur 5 zeigt das mit dem Strahlungsdetektor PA_1 gemessene Interferenzsignal u_1 der Strahlungsquelle LC (obere Spur) sowie als mittlere Spur dasselbe Signal nach Aufbereitung durch eine Gleichrichtereinheit R und einen Tiefpass LP. Die untere Spur in Figur 5 zeigt das mit dem Strahlungsdetektor PA_2 gemessene Interferenzsignal u_2 der Strahlungsquelle HC.

10 Die beiden Detektoren PA_1 und PA_2 sind bevorzugt als kohärente Detektionssysteme ausgebildet. Die vom jeweiligen Detektor PA_1 bzw. PA_2 detektierte Strahlung setzt sich zusammen aus einem konstanten Strahlungsanteil I_{ref} vom Referenzweig 5, einem konstanten Strahlungsanteil I_{MK} vom Messzweig 7 bzw. aus dem Kalibrierzweig 23 und einem zeitlich variablen Strahlungsinterferenzterm I_{if} :

$$I_{if} = 2 \cdot (I_{ref} \cdot I_{MK})^{1/2} \cdot |\gamma(\tau)| \cdot \cos(\omega\tau + \xi),$$

15 wobei γ der komplexe Korrelationsgrad der Feldstärken der beiden Strahlungsanteile I_{ref} und I_{MK} , τ die Laufzeitdifferenz der Strahlung in den beiden Interferometerzweigen, ω die Kreismittenfrequenz der Strahlungsquelle LC bzw. HC und ξ eine konstante Phase bedeuten. Die kohärente Detektion besteht darin, dass die von den Strahlungsanteilen I_{ref} und I_{MK} stammenden Gleichstromanteile mit einem Hoch- oder Bandpassfilter weggefiltert werden und dass die Intensität der jeweiligen Strahlungsquelle LC bzw. HC so gross gewählt wird, 20 dass der vom Interferenzterm I_{if} stammende Signalstrom grösser wird als der aus dem (thermischen) Eigenrauschen des Detektionssystems stammende Rauschterm. Hierdurch wird eine auf das Schrotrauschen der Strahlung begrenzte Empfindlichkeit erreicht. Im Unterschied zu den in der sogenannten "Weisslicht-Interferometrie" üblichen Auswerteverfahren wird mit dieser kohärenten Detektion die Empfindlichkeit zur Messung sehr schwacher 25 Signale stark verbessert und der Kontrast bei der Ermittlung der Amplitude der Interferenzsignale wesentlich verbessert.

Der Abstand der Nadeln in der unteren Spur ergibt als Längennormal jeweils eine halbe Wellenlänge der Strahlung der Strahlungsquelle HC. Die "Pulse" P_1 und P_2 stellen Punkte im oder auf dem Gegenstand 18 dar, an denen Strahlung reflektiert wird. Hier sind 30 es die vordere bzw. die hintere Oberfläche des Gegenstands 18. Aus der Anzahl Nadeln 29 zwischen den beiden Pulsen P_1 und P_2 , multipliziert mit der halben Wellenlänge der Strahlung der Strahlenquelle HC, ergibt sich der Abstand der beiden Gegenstandsoberflächen.

Ein Auszählen der Nadeln 29 und deren Zuordnung zu den Pulsen P_1 und P_2 kann selbstverständlich mit einer automatischen Auswertung erfolgen.

Bei der hier beschriebenen Auswertung erfolgt die Distanzmessung zwischen P_1 und P_2 mit einer Genauigkeit im Mikrometerbereich. Die Genauigkeit ist im wesentlichen 5 durch die Breite der Pulse P_1 bzw. P_2 gegeben. Sie ist nach unten begrenzt durch den Wert der halben Wellenlänge der Strahlungsquelle HC.

Eine Genauigkeitserhöhung lässt sich erreichen, indem die "Schwerpunkte" der Pulse P_1 und P_2 mit entsprechenden mathematischen Algorithmen ermittelt und die Orte der "Schwerpunkte" zwischen den Maxima der Interferenzsignale u_2 interpoliert werden. Es 10 kann aber auch mit den Interferenzsignalen u_1 gearbeitet und deren Phasenlage gegenüber dem Signal u_2 bestimmt werden. Auf Kosten eines kleineren Signal-Rausch-Verhältnisses werden dabei wesentlich höhere Genauigkeiten (im Bereich von $\lambda/10$ bis $\lambda/100$) erreicht.

Durch die Variation der Distanz im Referenzweg wird bei kontinuierlicher Detektion 15 die Reflexion im Gegenstand als Funktion der Tiefe gemessen. Derartige Reflexionsprofile können auch in stark streuenden (diffusiven) Gegenständen, z.B. in biologischen Objekten (menschliches, tierisches oder pflanzliches Gewebe, ...) gemessen werden. Aufgrund der kohärenten Detektion wird der nichtkohärente Anteil der gestreuten Strahlung nicht gemessen. Aus den Reflexionsprofilen lassen sich optische Eigenschaften des Gegenstands, wie 20 Gruppenbrechungsindex, Absorptionskoeffizient der kohärenten Strahlung etc. ermitteln. Wird die Polarisation der Strahlung z.B. unter Verwendung von polarisationserhaltenden Strahlungsleitern genau kontrolliert, so können unter Zuhilfenahme von z.B. Kompensatoren auch polarisationsabhängige Eigenschaften (Doppelbrechung, Drehungsvermögen etc.) bestimmt werden.

25 Das Abbildungssystem L_2 kann auch derart ausgebildet werden, dass der austretende freie Strahl 7' in der Papierebene der Figur 1 sowie in einer hierzu senkrechten Ebene analog der Pfeile 50 verschiebbar oder räumlich analog der Pfeile 51 verschwenkbar ist. In beiden Fällen ist ein Abtasten des Gegenstands 18 möglich. Da die Schwenk- bzw. Verschiebelage des freien Strahls 7' und der Abstand des Gegenstands 18 vom Abbildungs- 30 system L_2 bekannt sind, kann der Gegenstand 18 (sowie sein Inneres) optisch hiermit ausgemessen werden.

Bei Phasenmessung ist es von Vorteil, wenn die Interferenzsignale u_1 und u_2 die selbe Frequenz aufweisen. Eine Schaltungsanordnung, welche dies ermöglicht und welche gleichzeitig Frequenzvariationen, verursacht durch nichtlineare Weglängendifferenzänderungen im Referenzweig 5 (Weglängenvariationseinheit 15), eliminiert, ist in **Figur 6** dargestellt.

Mittels eines elektronischen Elements **PLL** (phase-locking loop) wird die oszillierende Spannung u_2 entsprechend der Oszillationsfrequenz in eine Spannung U_2 umgeformt. Die Spannung U_2 wird mit einem Operationsverstärker **OA** mit konstanter Verstärkung in eine Spannung U_3 verstärkt. Der konstante Verstärkungsfaktor G ist auf das Verhältnis zwischen der Mittenwellenlänge der Strahlungsquelle **HC** und derjenigen der Strahlungsquelle **LC** eingestellt:

$$G = \lambda_{HC} / \lambda_{LC} = 1/k$$

Der derart erhaltenen Spannung U_3 wird eine konstante Spannung - U_{offset} zur Bildung einer Spannung U_4 überlagert. Diese Spannung U_4 wird durch einen spannungskontrollierten Oszillator **VCO** (voltage-controlled oscillator) in eine oszillierende Spannung u_5 verwandelt.

Mit dem elektrischen Signal u_1 des Strahlungsdetektors **PA1**, erzeugt mit der Interferenzstrahlung der Strahlungsquelle **LC**, und der oszillierenden Spannung u_5 wird ein Differenzsignal $u_{f,diff}$ mit einem elektronischen Mixer **MIX** gebildet. Die Frequenz dieser Spannung $u_{f,diff}$ ist:

$$\begin{aligned} f_{diff} &= f(u_1) - f(u_5) \\ &= f_{Doppler, LC} - F(U_3 - U_{offset}) \\ &= f_{Doppler, LC} - F[U_2 \cdot (\lambda_{HC} / \lambda_{LC}) - U_{offset}] \\ &= f_{Doppler, LC} - f_{Doppler, HC} \cdot (\lambda_{HC} / \lambda_{LC}) + F(U_{offset}) \\ &= v_{scan} / \lambda_{LC} - (v_{scan} / \lambda_{HC}) \cdot \lambda_{HC} / \lambda_{LC} + F(U_{offset}) \\ &= v_{scan} / \lambda_{LC} - v_{scan} / \lambda_{LC} + F(U_{offset}) = F(U_{offset}) \end{aligned}$$

wobei $f(u_x)$ die Frequenz der jeweiligen oszillierenden Spannung u_x kennzeichnet und $F(U_x)$ die jeweilige Transferfunktion der elektronischen Elemente **PLL** und **VCO**, welche gleichgesetzt werden.

Mit der Schaltungsanordnung gemäss **Figur 6** wird eine synthetische Frequenz

$f_3 = G \cdot f_2$ gebildet, derart, dass ein neues Differenzsignal konstant bleibt:

$$f_4 = f_3 - f_1.$$

Ausgehend von den oben gemachten mathematischen Überlegungen ergibt sich,

5 dass die Frequenz der Weglängenänderungen in das Messverfahren nicht eingeht. Aufgrund dieser Überlegung wird dem Operationsverstärker **OA** ein Schmalbandfilter **BP** mit der Mittenfrequenz f_{diff} nachgeschaltet werden. Durch die Schmalbandigkeit des Bandpasses **BP** ergibt sich eine signifikante Erhöhung der Messempfindlichkeit.

Da hier das Differenzsignal zeitlich konstant bleibt, können auch Reflexionsprofile
10 unter Verwendung einer Weglängenvariationseinheit ermittelt werden, deren Weglängenänderung über der Zeit stark nicht linear ist (=keine konstante Weglängenänderungsgeschwindigkeit). Die oben ausgeführte Strahlführung in einem rotierenden Würfel
(**Figur 2**) kann z. B. stark vereinfacht werden, indem ein z.B. ein rotierendes Parallelepiped
(Würfel, Rhomboeder) oder eine rotierende Glasplatte vor einem festen Spiegel in Trans-
15 mission durchstrahlt wird, wobei der Strahl durch den Spiegel in sich zurück reflektiert wird. Weitere Vorrichtungen wie sinusförmig vibrierende Spiegelmembranen, feste Glasplatten
oder Würfel kombiniert mit rotierenden Spiegeln, die bisher wegen einer starken Doppler-
frequenzvariation nicht verwendet werden konnten, können jetzt mit dem oben beschriebenen
Verfahren verwendet werden.

20 Falls die Wellenlängen der beiden Strahlungsquellen gleich gross gewählt werden
($\lambda_{\text{HC}} = \lambda_{\text{LC}}$; $k = 1$), durchlaufen beide Dopplersignale bei auftretenden Nichtlinearitäten in
Weglängenvariationsgeschwindigkeit v_{scan} dieselben Frequenzänderungen, wie bereits
oben erwähnt. Die Differenz der Dopplerfrequenzen f_{Doppler} ist für alle Positionen des re-
flektierenden Spiegels 30 der Weglängenvariationseinheit 15 Null. Es kann somit auf die
25 Frequenzumwandlung des detektierten Signals verzichtet werden. Die in **Figur 6** darge-
stellte Schaltungsanordnung kann vereinfacht werden, indem der mit **FU** bezeichnete Teil
zur Frequenzumwandlung weggelassen wird.

30 Senden beide Strahlungsquellen Strahlung mit derselben Wellenlänge aus, kann
zur Kopplung der beiden Interferometer ein normaler Fiberkoppler von z.B. 50/50 anstelle
des Wellenlängenmultiplexers **WDM** in **Figur 1** verwendet werden.

Eine Strahlung grosser Kohärenzlänge kann auch durch eine wellenlängenselektive
Filterung aus einer breitbandigen Strahlung mit kurzer Kohärenzlänge erhalten werden.

Eine einfache experimentelle Anordnung ist in **Figur 7** dargestellt. Hier wird die breitbandige Strahlung einer Strahlungsquelle **S** mit einem Strahlungsleiter **107** zu einem Fiberkoppler **109** geführt. Von diesem Koppler **109** geht ein Teil der Strahlung (annähernd die Hälfte) über einen Referenzweig **110** analog zur Darstellung in **Figur 1** auf eine Wegvariations-
 5 einheit **15**. Vom Koppler **109** geht der andere Strahlungsteil über einen Polarisationskon-
 troller **PC1** zu einer Einheit **111**, welche analog zu dem in **Figur 1** eingesetzten **WDM** aus-
 gebildet ist. Auf den anderen Eingang der Einheit **111** ist die sichtbare Strahlung eines
 10 Ziellasers **112** geführt. Auf den Ziellaser **112** kann verzichtet werden, wenn die Strahlung
 der Strahlungsquelle **S** im sichtbaren Spektralbereich liegt. Der Ausgang der Einheit **111**
 15 führt zum Messzweig **113**. Der Messzweig hat einen an die Einheit **111** angeschlossenen
 Strahlungsleiter **114**, an dessen der Einheit **111** abgewandten Ende ein "schmalbandiger"
 Reflektor **115** als frequenzselektive Einheit angeordnet ist. Als frequenzselektive Einheit
 kann z.B. ein "Faser Bragg Grating" verwendet werden. Der Maximalwert der Reflexion
 liegt hier innerhalb der spektralen Bandbreite $\Delta\lambda_s$ der Strahlungsquelle **S**. Die "Mittenwei-
 20 lenlänge" liegt beispielsweise im Maximum der Emissionskurve λ_s der Strahlungsquelle **S**.
 Die Bandbreite $\Delta\lambda_B$ der frequenzselektiven Einheit **115** wird so gewählt, dass die Kohä-
 renzlänge L_B der durch den Reflektor **115** reflektierten Strahlung grösser ist als der dop-
 pelte Abstand **D** zwischen dem Reflektor **115** und dem Messort im Gegenstand **18**. Zwi-
 schen der Bandbreite $\Delta\lambda_B$ und der Kohärenzlänge L_B besteht unter Annahme einer spek-
 tralen Intensitätsverteilung mit Gaussprofil die Beziehung

$$L_B = \frac{4 \cdot \ln 2}{\pi} \cdot \frac{\lambda_B^2}{\Delta\lambda_B}$$

Es muss somit die Bandbreite $\Delta\lambda_B$ zu

$$\Delta\lambda_B \leq \frac{2 \cdot \ln 2}{\pi} \cdot \frac{\lambda_s^2}{L_B}$$

gewählt werden. Ist diese Bedingung erfüllt, so interferiert die vom Reflektor **115** reflektierte Strahlung mit der Strahlung des Referenzweiges **110**. Die vom Reflektor **115** nicht reflek-
 25 tierte breitbandige Strahlung wird über die Linse **L₂** auf bzw. in den Gegenstand **18** geführt
 und dort reflektiert. Diese breitbandige reflektierte Strahlung interferiert mit der Strahlung
 aus dem Referenzweig **110**, wenn die optischen Distanzen im Referenzweig **110** und im
 30 Messzweig **113** gleich lang sind. Die interferierenden Strahlungen werden über einen

Strahlungsleiter 116 und ein optisches Abbildungssystem L5 auf einen wellenlängenselektiven Strahleiter IF (z.B. ein Interferenzfilter) geführt, der die schmalbandige Strahlung auf einen Detektor PA₂ leitet und die breitbandige Strahlung zum Detektor PA₁ reflektiert.

5 Die Transmissionskurve des als Strahleiter IF wirkenden Interferenzfilters muss mit der Reflexionskurve des Reflektors (Bragg Gitter) 115 übereinstimmen, damit lediglich minimale Verluste sich ergeben.

10 Anstelle des Interferenzfilters als Strahleiter IF können auch andere wellenlängenselektive Filter, wie z.B. Bragg-Gitter, verwendet werden. Die Strahlung am Ausgang des Strahlungsleiters 116 kann aber auch mit einem Detektor detektiert werden, wobei dann die elektrischen Signale der beiden Interferenzen mit elektrischen Filtern getrennt werden müssen.

15 Die in **Figur 7** dargestellte Anordnung hat den Nachteil, dass das Spektrum der Strahlungsquelle S durch den wellenlängenselektiven Reflektor 115 modifiziert wird. Es könnte hierdurch die Dynamik oder die Auflösung bei der Messung des Reflexionsprofils des Gegenstands beeinträchtigt werden.

20 Dieser Nachteil kann behoben werden, indem z.B. unter Zuhilfenahme eines weiteren Kopplers 119 die Strahlungswege zwischen schmalbandiger und breitbandiger Strahlung von Anfang an aufgetrennt werden. Eine entsprechende Anordnung ist in **Figur 8** dargestellt.

25 Sollte die in den Anordnungen der **Figuren 7 und 8** verwendete Strahlungsquelle S empfindlich gegenüber einer rückgekoppelten Strahlung sein (wenn beispielsweise ein Wellenleiterverstärker als Strahlungsquelle S eingesetzt wird), so kann die Rückkopplung mit einer an geeigneter Stelle (z.B. am Ausgang der Strahlungsquelle S) platzierten optischen Diode unterdrückt werden.

Die wellenlängenselektive (frequenzselektive) Einheit 115 kann auch direkt an den Eingang und/oder den Ausgang der Strahlungsquelle S gelegt oder auch gleich in sie integriert werden (z.B. ein Faserlaser mit Spontanemission). Die Bandbreite der Strahlung mit der grossen Kohärenzlänge muss nur den oben aufgeführten Bedingungen genügen.

30 Eine weitere Ausführungsvariante zu der in **Figur 1** dargestellten optischen Anordnung zeigt **Figur 9**. Hier wird der Zweig 23, hier mit 53 gekennzeichnet, nicht mehr auf den Spiegel 25 geführt, sondern über ein optisches Element 54 in den Messzweig, hier mit 55

gekennzeichnet, eingekoppelt. Das Element 54 ist analog zu dem optischen Element WDM ausgebildet. Das Strahlungsleiterende 16 ist mit einer dichroischen Reflexionsschicht derart versehen, dass die Strahlung der Strahlungsquelle HC reflektiert, diejenige der Strahlungsquelle LC jedoch transmittiert wird (=Übernahme der Funktion des Spiegels 25).

5 Ein weiterer Vorteil dieser Anordnung ergibt sich bei einem langen Strahlungsleiter 55 zum auszumessenden Gegenstand 18: Die Strahlungen aus den Strahlungsquellen HC und LC durchlaufen dieselben Wegstrecken und allfällige Änderungen der optischen Distanz durch z.B. Druck- und/oder Temperaturänderungen werden bei der oben beschriebenen Auswertung der Distanzen direkt kompensiert.

10 In dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel sind die Mittenwellenlängen λ_{HC} und λ_{LC} der beiden Strahlungsquellen HC und LC unterschiedlich:

$$\lambda_{HC} \neq \lambda_{LC}$$

15 In diesem Fall können Gruppendispersionseffekte auftreten. Diese Dispersionseffekte können vermieden bzw. minimiert werden, wenn die Summe der optischen Weglängen $[\sum n_i \cdot l_i]$, wobei l_i die geometrische Länge des betreffenden, i -ten Elements und n_i dessen Gruppen-Brechungsindex bei der betreffenden Wellenlänge ist) in beiden Interferometerarmen gleich gross ist.

20 Wird eine der beiden Strahlungsquellen derart ausgewählt, dass ihre Strahlung im sichtbaren Bereich liegt, so kann auch hier auf den "Ziellaser" 27 und damit auch auf den Koppler 26 verzichtet werden (Figuren 9 bis 11). Hierdurch ist eine signifikante Vereinfachung der Anordnung erzielbar.

25 Wird das Element 54 als Koppler analog zum Koppler 19 ausgebildet und Strahlungsquellen mit gleicher Mittenwellenlänge [$\lambda_{HC} = \lambda_{LC}$] jedoch unterschiedlicher Kohärenzlänge verwendet, so können die oben aufgeführten Dispersionseffekte ausgeschlossen werden.

30 Eine weitere Variante zum optischen Aufbau der Figur 1 ist in Figur 10 dargestellt. Hier wird anstelle der beiden Koppler 1 und 19 ein Dreifachkoppler 59 verwendet. Von der linken Seite des Koppplers 59 in Figur 7 gehen drei Strahlungsleiter 61, 62 und 63 ab. Der Strahlungsleiter 61 führt zu einer Strahlungsquelle 65 (analog der Strahlungsquelle HC) mit der Mittenwellenlänge λ_{HC} und grosser Kohärenzlänge sowie der Strahlungsleiter 63 zu einer Strahlungsquelle 66 (analog der Strahlungsquelle LC) mit der Mittenwellenlänge λ_{LC} .

und kleiner Kohärenzlänge. Der Strahlungsleiter 62 ist mit einem untenbeschriebenen Detektionssystem 67 bzw. 69 verbunden, welches entweder mit einem elektrischen oder einem optischen Verfahren eine Signaltrennung vornimmt. Von der in **Figur 10** rechten Seite des Kopplers 59 gehen drei Strahlungsleiter 71, 72 und 73 ab. Der Strahlungsleiter 71 führt 5 über einen Polarisationskontroller 74 (analog dem Polarisationskontroller **PC**₂) und über ein Durchgangsfilter 75 für die Mittenwellenlänge λ_{HC} zu einem feststehenden Spiegel 76 (analog Spiegel 25). Der Strahlungsleiter 72 führt Strahlung mit den Mittenfrequenzen λ_{HC} und λ_{LC} über ein optisches Abbildungssystem 77, (analog dem Abbildungssystem **L**₂) wie bereits oben beschrieben, auf eine Weglängenvariationseinheit 79, welche analog zu den 10 bereits oben beschriebenen ausgebildet sein kann. Der Strahlungsleiter 73 führt Strahlung mit der Mittenwellenlänge λ_{LC} durch einen Polarisationskontroller 80 (analog Polarisationskontroller **PC**₁), durch ein für diese Wellenlänge bestimmtes Durchgangsfilter 81 und über ein Abbildungssystem 82 (analog Abbildungssystem **L**₂) als Strahl auf einen auszumessenden Gegenstand 83.

15 Mit einer analogen zu der in **Figur 10** gezeigten Anordnung mit einem Dreifach-koppler 59 kann auch analog zu den Anordnungen der **Figuren 7 und 8** mit nur einer Strahlungsquelle 66 (LC) mit kurzer Kohärenzlänge verfahren werden. Anstelle der Strahlungsquelle 65 (HC) wird ein zweiter Strahlungsdetektor analog zum Strahlungsdetektor 67 bzw. 69 gesetzt und der feststehende Reflektor 76 durch einen wellenlängenselektiven 20 Reflektor analog zum Reflektor 115 ersetzt. Die Durchgangsfilter 75 und 81 fallen weg; es werden dafür z.B. am Eingang der Detektoren optische Filter montiert, welche die schmalbandige Strahlung des frequenzselektiven Reflektors unterdrücken (reflektieren, Detektion der breitbandigen Strahlung mit **PA**₁) bzw. transmittieren (Detektion der schmalbandigen Strahlung durch **PA**₂).

25 Anstelle oder zusätzlich zu den optischen Filtern können auch elektrische Filter in **PA**₁ und **PA**₂ verwendet werden. Die Filter werden analog zu den in der Anordnung in **Figur 8** verwendeten bestimmt.

In **Figur 11** ist eine weitere Ausführungsvariante des optischen Aufbaus dargestellt. Die beiden Strahlungsquellen 85 und 86 mit der grossen Kohärenzlänge und der Mitten- 30 wellenlänge λ_{HC} sowie mit der kleinen Kohärenzlänge und der Mittenwellenlänge λ_{LC} sind über je einen Strahlungsleiter 87 bzw. 89 mit einer zur Einheit **WDM** identischen Einheit 90 verbunden. Die durch die Einheit 90 vereinten Strahlungen λ_{HC} und λ_{LC} werden auf einen Anschluss (links in **Figur 8**) eines Kopplers 91 geführt. Der andere linke Anschluss des

Kopplers 91 ist über einen Strahlungsleiter 92 mit einem Detektionssystem analog der Detektionssysteme 67 bzw. 69 verbunden. Ein (rechtsseitiger) Anschluss des Kopplers 91 führt über einen Strahlungsleiter 93 mit Polarisationskontroller 94, analog zur obigen Beschreibung auf eine Wegvariationseinheit, hier mit 95 gekennzeichnet. Der andere (rechtsseitige) Anschluss des Kopplers 91 führt analog zu den obigen Ausführungen zum auszumessenden Gegenstand 97.

Figur 12 zeigt als Blockschaltbild die in den Figuren 10 und 11 eingesetzte Schaltungsanordnung eines Detektionssystems mit elektrischer Signaltrennung. Die mit dem Strahlungsleiter 92 (Figur 10 und 11) zugeführten optischen Signale mit den Dopplerfrequenzen $f_{Doppler, LC}$ und $f_{Doppler, HC}$ werden mit einem einzigen Detektor 99 in entsprechende elektrische Signale umgeformt. Beide Signale unterscheiden sich u.a. durch die unterschiedlichen Dopplerfrequenzen $f_{Doppler, LC}$ und $f_{Doppler, HC}$, welche mit einer Frequenzweiche 100 aufgetrennt werden. Diese aufgetrennten elektrischen Signale entsprechen den Signalen u_1 und u_2 in Figur 4 und werden, wie zu dieser Figur beschrieben, verarbeitet.

Figur 13 zeigt als Blockschaltbild die in den Figuren 10 und 11 eingesetzte Schaltungsanordnung eines Detektionssystems mit optischer Signaltrennung, welche hier über eine Einheit 101 mit analoger Funktion zu dem bereits oben beschriebenen WDM optisch getrennt und anschliessend mit je einem Detektor 102 und 103 detektiert werden. Die detektierten Signale werden analog zur Beschreibung der Figur 4 verarbeitet.

Anstelle des Elements WDM können selbstverständlich auch ein dispersives Element (Gitter, Prisma, ...) oder wellenlängenselektive Filter verwendet werden.

Figur 14 zeigt ein Blockschaltbild einer Ausführungsvariante der oben beschriebenen Vorrichtung. Auch hier sind zwei miteinander gekoppelte Michelson-Interferometer 123 und 124 vorhanden. Die optischen Komponenten des Michelson-Interferometers 123 sind mit einer gestrichelten Linie umzogen und diejenigen des Michelson-Interferometers 124 mit einer strichpunktuierten. Die hier dargestellte Variante gestattet ein gleichzeitiges (paralleles) Ausmessen von verschiedenen im Gegenstand 144 liegenden Punkten ohne den Messstrahl, wie in den Figuren 1, 7, 8, 9, 10 und 11, zu bewegen. Das Blockschaltbild dieser Ausführungsvariante unterscheidet sich von den in den Figuren 1, 7, 8, 9, 10 und 11 dargestellten dadurch, dass anstelle des Detektors PA_1 nicht mehr nur ein einziger Detektor, sondern eine Detektorenanordnung 125 mit mehreren Detektoren D_i vorhanden ist, wobei i von 1 bis n läuft. Als Detektorenanordnung 125 kann beispielsweise ein CMOS-Chip mit inte-

grierten Detektorelementen, Verstärkerelementen, Filterelementen, ... verwendet werden. Durch die Mehrzahl der Detektoren D_i kann die hier gezeigte Vorrichtung mehrere Interferenzsignale gleichzeitig detektieren und unmittelbar anschliessend an die Detektion gleichzeitig elektronisch aufarbeiten. Hierdurch wird die für ein 2- bzw. 3-dimensionales Tomogramm notwendige Zeitdauer erheblich verkürzt, verglichen mit einer Verwendung von Vorrichtungen betreffend der in Figuren 1, 7, 8, 9, 10 und 11 gezeigten Blockschaltbilder.

Das Michelson-Interferometer 123 weist eine Strahlungsquelle 127 mit kleiner Kohärenzlänge LC auf, welche hier beispielsweise vier punktiert dargestellte Strahlen 129a bis 129d aussendet. Die vier Strahlen 129a bis 129d werden mit einer Kollimationsoptik 128 parallel gerichtet und zu einem physikalischen Strahlteiler 130 geführt. Bei einem physikalischen Strahlteiler bleibt im Gegensatz zum geometrischen Strahlteiler der Bündelquerschnitt in beiden Teilbündeln so gross wie im einfallenden Bündel. Der Strahlteiler 130 teilt die parallelen Strahlen 129a bis 129d in zweimal vier Teilstrahlen 131a bis 131d und 132a bis 132d auf, wobei die Teilstrahlen 131a bis 131d im Referenzweig 133 und die Teilstrahlen 132a bis 132d im Objektzweig 135 des Interferometers 123 laufen.

Die Teilstrahlen 132a bis 132d durchlaufen einen wellenlängenselektiven, geometrischen Strahlteiler 137 und dann eine Fokussieroptik 139. Anstelle des wellenlängenselektiven, geometrischen Strahlteilers 137 kann auch ein polarisationsselektiver, geometrischer verwendet werden. Mit der Fokussieroptik 139 werden die Teilstrahlen 132a bis 132d auf einen linear bewegten Spiegel 140 als Wegvariationseinheit fokussiert. Die kontinuierliche lineare Bewegung des Spiegels 140 erfolgt parallel zur Richtung der Achsen der parallel gerichteten Teilstrahlen 132a bis 132d, also in Richtung der optischen Achse des Referenzweiges 133. Anstelle des Spiegels 140 kann selbstverständlich auch die in Figure 2 dargestellte Wegvariationseinheit verwendet werden. Die Teilstrahlen 132a bis 132d passieren den Strahlteiler 137, während eine Strahlung 141 des Michelson-Interferometers 124, wie unten beschrieben, von diesem zum Spiegel 140 reflektierend umgelenkt wird, da sie zu den Teilstrahlen 132a bis 132d entweder eine andere Wellenlänge oder eine andere Polarisationsrichtung hat.

Die zueinander parallelen Teilstrahlen 131a bis 131d werden mit einer Fokussieroptik 143 im Objektzweig 135 des Interferometers 123 auf bzw. in den auszumessenden Gegenstand 144 fokussiert. Die vom Gegenstand 144 und vom Spiegel 140 rückreflektierten Strahlen werden im Strahlteiler 130 überlagert und als vier zueinander parallele Strahlen 145a bis 145d zu den Detektoren D_i durch eine fokussierende Detektoroptik 147 in der

Detektoranordnung 125 gesandt. Von jedem der Detektoren D_i wird nur dann ein Interferenzsignal mit der Strahlung der Strahlungsquelle 127 erzeugt, wenn in dem betreffenden Strahl 145a, 145b, 145c bzw. 145d die optische Weglänge im Referenzzweig 133 des Interferometers 123 (gemessen vom Strahlteiler 130 bis zum Spiegel 140 und zurück) und 5 die optische Weglänge im Objektzweig 135 des Interferometers 123 (gemessen vom Strahlteiler 130 bis zum Ort der Reflexion im Gegenstand 144 und zurück) sich um höchstens eine Distanz unterscheiden, die kleiner oder gleich der Kohärenzlänge der Strahlung der Strahlungsquelle 127 ist. Ein Polarisationskontroller kann beispielsweise in den Referenzzweig 133 oder in den Objektzweig 135 des Interferometers 123 eingefügt sein, um die 10 Intensität des Interferenzsignals auf den Detektoren D_i zu erhöhen. Die Messsignale der Detektoren D_i werden dann durch parallele Funktionseinheiten aufbereitet.

In Figur 14 ist beispielsweise eine eindimensionale Detektionsanordnung 125 mit vier Detektoren D_1 bis D_4 dargestellt. Die zu den Funktionseinheiten gehörenden Baugruppen können ein elektronischer Verstärker, ein elektronisches Bandpassfilter, ein elektronischer Gleichrichter und ein Tiefpassfilter sein. Die an den Ausgängen der Funktionseinheiten in analoger Form vorliegenden aufbereiteten elektrischen Signale werden in einem Analog-zu-digital-Konverter 149 digitalisiert. Die digitalisierten Signale werden dann in einer Datenerfassungseinheit 150 eingelesen. Die Koordinate x eines Punktes im Gegenstand 144, von dem ein Interferenzsignal stammt, wird eindeutig bestimmt durch die Lage 20 der betreffenden Detektionseinheit D_i .

Das andere zweite Michelson-Interferometer 124 hat einen Monomode-Faserkoppler 151. In diesen Koppler 151 wird mit einer Monomodefaser 153 eine Strahlung grosser Kohärenzlänge HC von einer Strahlungsquelle 154 eingekoppelt. Der Faserkoppler 151 teilt hier etwa zu gleichen Teilen die Strahlungsintensität in zwei Zweige 155 und 156 auf. Die Strahlung des Zweiges 155 verläuft zunächst in einer Monomodefaser 157 und 25 einem Polarisationskontroller 160. Nach dem Polarisationskontroller 160 endet die Faser 157; die am Ende austretende Strahlung wird auf eine Kollimationsoptik 161 geführt. Die kollimierte Strahlung 141 wird dann, wie in Figur 14 strichpunktiert angedeutet ist, auf den Strahlteiler 137 geführt und wird dann, da sie entweder eine andere Wellenlänge oder eine 30 andere Polarisationsrichtung als die Strahlung der Quelle 127 hat, vom Strahlteiler 137 umgelenkt. Diese umgelenkte Strahlung passiert dann die Fokussieroptik 139, wird vom bewegten Spiegel 140 rückreflektiert und gelangt dann wieder über den Strahlteiler 137, die Optik 161 in die Faser 157, den Polarisationskontroller 160 passierend, in den Koppler 151.

Im Koppler 151 wird diese vom kontinuierlich linear bewegten Spiegel 140 rückreflektierte Strahlung einer Strahlung überlagert, welche vom Koppler 151 in den Zweig 156 eingekoppelt wurde und an dessen bevorzugt verspiegeltem Faserende 164 rückreflektiert worden ist. Die überlagerte interferierende Strahlung wird vom Koppler 151 über eine Faser 165 zu einer Detektionseinheit 166 geführt. In der Detektionseinheit 166 wird nur dann ein Interferenzsignal der Strahlung mit einer grossen Kohärenzlänge (HC) von der Strahlungsquelle 154 erzeugt, wenn die optische Weglänge im Zweig 155 (gemessen vom Faserkoppler 151 via Strahlteiler 137 bis zum Spiegel 140 und zurück) und die optische Weglänge im Zweig 156 des Interferometers 124 (gemessen vom Faserkoppler 151 bis zum Faserende 164 und zurück) sich um höchstens eine Distanz unterscheiden, die kleiner oder gleich der Kohärenzlänge der Strahlung (HC) der Strahlungsquelle 154 ist.

Anstelle des Faserkopplers 151 kann auch ein physikalischer Strahlteiler analog zum Strahlteiler 130 verwendet werden, wobei dann jeweils am Koppler die Strahlung aus den Fasern ausgekoppelt werden muss.

Das Interferenzsignal wird in der Detektionseinheit 166 aufbereitet, welche beispielsweise neben einem Photodetektor einen elektronischen Verstärker, ein elektronisches Bandpassfilter, einen elektronischen Komparator und einen elektronischen Zähler hat. Die derart ausgebildete Detektionseinheit 166 ist beispielsweise in der Lage, jedem Wellenberg oder Wellental des Interferenzsignales eine natürliche Zahl zuzuordnen. Die Differenz der zwei natürlichen Zahlen, die zwei Wellenbergen zugeordnet werden, ergibt die Anzahl der Wellenberge N, die zwischen den zwei Wellenbergen vorhanden sind. Die örtliche Distanz zwischen den beiden Wellenbergen ergibt sich aus N multipliziert mit der halben Wellenlänge der Strahlung der Strahlungsquelle 154. Die erreichbare Genauigkeit einer solchen Distanzmessung beträgt eine halbe Wellenlänge der Strahlung der Strahlungsquelle 154. Durch eine Interpolation der Schwingungsperioden des Interferenzsignals der Strahlung der Strahlungsquelle 154 kann zudem erreicht werden, dass eine Distanzmessung mit einer Genauigkeit unterhalb der halben Wellenlänge durchführbar ist. Die am Ausgang der Detektionseinheit 166 bevorzugt digital anliegenden Signale werden zur Datenerfassungseinheit 150 geführt. Diese eingelesenen digitalisierten Signale, die natürlichen Zahlen entsprechen, werden den von den Detektoren D_i des Interferometers 123 gelieferten Signalen zugeordnet, wodurch eine Tiefenzuordnung (Koordinate z) im Gegenstand 144 erfolgt.

Mit einer dem Blockschaltbild von **Figur 14** entsprechenden Vorrichtung mit zwei gekoppelten Interferometern **123** und **124** wird durch das oben beschriebene Vorgehen ein Reflektivitätsverlauf der Strahlung kleiner Kohärenzlänge im Gegenstand **144** als Funktion der Koordinaten **z** und **x** zu einem bestimmten Zeitpunkt und einem vorgegebenen Koordinatenwert **y** gemessen. Soll der Reflektivitätsverlauf als Funktion von **z**, **x** und **y** zu einem bestimmten Zeitpunkt gemessen werden, kann anstelle der linearen Detektoranordnung **125** ein zwei-dimensionales Detektorarray verwendet werden. Die Strahlungsanordnung der aus der Strahlungsquelle **127** austretenden Strahlen ist dann derart aufzuweiten, dass sämtliche Detektoren bestrahlt werden.

Soll der Reflektivitätsverlauf als Funktion von **z**, **x**, **y** und der Zeit **t** gemessen werden, muss das beschriebene Messverfahren zu unterschiedlichen Zeitpunkten wiederholt werden. Auch in diesem Fall wird, wie bereits vorgängig beschrieben, eine analoge Wellenlängenvariation vorgenommen. Auf einem Monitor **167** kann der Reflektivitätsverlauf als Funktion der Koordinaten **z**, **x** oder **z**, **y** visualisiert werden. Mit wiederholten Messungen wird auf dem Monitor der Reflektivitätsverlauf als Funktion von **z**, **x**, **t** und/oder **z**, **y**, **t** visualisiert.

Ein Blockschaltbild zu einer Ausführungsvariante der mit dem Blockschaltbild in **Figur 14** dargestellten Vorrichtung zeigt **Figur 15**. Anstelle einer einzigen kurz-kohärenten Strahlungsquelle **127** wird eine Anordnung **169** von mehreren kurz-kohärenten Strahlungsquellen **LC_i** in einem Michelson- Interferometer **172** verwendet, wobei **i** von 1 bis **n** läuft. Es kann hierzu eine Multikern-Faser verwendet werden, die mehrere mit einem aktiven Medium dotierte Kerne (Cores) enthält, oder ein im Lumineszenzbetrieb arbeitendes Diodenarray. Das Michelson-Interferometer **172** ist bis auf die Anordnung **169** und eine unten erwähnte Kollimationsoptikanordnung **173** analog zum Interferometer **123** aufgebaut. In **Figur 15** ist ein Beispiel mit 4 kurz-kohärenten Quellen gezeigt. Punktiert dargestellt sind die vier zueinander parallelen Strahlen der vier Strahlungsquellen **LC₁** bis **LC₄**. Anstelle der Kollimationsoptik **128** wird hier eine Kollimationsoptikanordnung **173** verwendet. In je einem der Detektionsysteme **D_i** wird dann nur jeweils ein Interferenzsignal eines Strahls der Strahlungsquelle **LC_i** erzeugt, wenn für die Strahlung der Strahlungsquelle **LC_i** die optische Weglänge eines zum Referenzweig **133** analog ausgebildeten Referenzweigs **170** und die optische Weglänge eines zum Objektzweig **135** analog ausgebildeten Objektzweigs **171** sich um höchstens eine Distanz unterscheiden, die kleiner oder gleich der Kohärenzlänge

der Strahlung der Strahlungsquelle **LC₁** ist. Ein Michelson-Interferometer mit der hochkohärenten Strahlungsquelle arbeitet analog zu dem in **Figur 14** dargestellten.

Mit einer Vorrichtung gemäss dem Blockschaltbild in **Figur 15** ist ein gleichzeitiges Ausmessen von verschiedenen im Gegenstand liegenden Punkten möglich.

5 In **Figur 16** wird eine mögliche Ausführung mehrerer kurz-kohärenter Strahlungsquellen gezeigt, die in das Michelson-Interferometer **172** eingekoppelt werden können. Es handelt sich dabei um eine Faser **175**, die hier aus beispielsweise sieben Faserkernen (Cores) **177** besteht, die von einer inneren Umhüllung **179** (Cladding) und einer äusseren Umhüllung **181** umgeben sind. Von den sieben Faserkernen **177** sind sechs in einem Kreis
10 und der siebte in der Mitte angeordnet.

15 Andere geometrische Anordnungen sind ebenfalls möglich, wie z.B. dreieckig, rechteckig, vieleckig. Die Faserkerne **177** sind mit einer Verbindung dotiert, die beim Bestrahlen mit einer geeigneten Pumplichtstrahlung eine breitbandige Strahlung emittiert. Es können beispielsweise Erbium, Neodymum oder Ytterbium dotierte Faserkerne verwendet
15 werden.

20 Eine dotierte doppelt ummantelte Multikern-Faser wird in bevorzugter Weise von einem Diodenlaser-Array gepumpt. Die in der Ummantelung geführte optische Anregung (Pumplichtstrahlung) führt zur Erzeugung einer breitbandigen Strahlung in den Faserkernen. Die Faserlänge sowie die Konzentration der Dotierung ist geeignet zu wählen. Es wird hierdurch eine zwei-dimensionale Verteilung von breitbandigen Emittoren erzeugt.

Um die Pumpstrahlung und die Strahlung der einzelnen kurz-kohärenten Quellen optimal zu führen, muss der Brechungsindex der Faserkerne grösser sein als derjenige sowohl der äusseren als auch der inneren Ummantelung. Es muss der Brechungsindex der inneren Ummantelung grösser sein als derjenige der äusseren Ummantelung.

25 Um eine Ortsauflösung im Interferometer **172** nicht zu beeinträchtigen, müssen einerseits die Abstände zwischen benachbarten Faserkernen genügend gross gewählt werden, so dass kein Energieaustausch zwischen ihnen stattfinden kann, und andererseits müssen deren Durchmesser ausreichend klein gewählt werden, damit jeder Emitter im transversalen Grundmode oszilliert. Durch die optionale Behandlung der Faserenden (Abwinkelung und/oder antireflektive Beschichtung) und dem optionalen Einsatz eines in die Faserkerne eingeschriebenen wellenlängenselektiven Gitters werden die Frequenzspektren und die Intensitäten der breitbandigen Strahlungsemitter bestimmt. Allgemein gespro-
30

chen kann die beschriebene Pumpkonfiguration dazu verwendet werden, eine transversale Multimodestrahlung, die zum Beispiel ein Diodenlaser-Array abgibt, in mehrere transversale Monomodestrahlungen umzuwandeln.

Es gibt Anwendungen, bei denen es von Vorteil ist, die eine örtliche Intensitätsverteilung über einem Strahlquerschnitt bzw. den Strahldurchmesser q_x auf einen zu bearbeitenden Gegenstand zu ermitteln, bevorzugt während der Bearbeitung zu ermitteln. Derartige Ermittlungen sind beispielsweise beim Erwärmen, Schneiden, Schweißen, Verdampfen, Abtragen von Materialien, insbesondere von Geweben mit Hilfe eines Laserstrahles von Vorteil.

Es lassen sich mit der oben beschriebenen Vorrichtung auch Distanzen g_x und somit auch Materialdicken beliebiger Oberflächenkonturen bestimmen, wobei hier jeweils auf die dabei auftretenden beiden Reflexionen abgestellt wird. Die mögliche Weglängenänderung, hervorgerufen mit der Weglängenvariationseinheit, muß entsprechend groß gewählt sein.

Als Beispiel wird hier aufgezeigt, wie ein Abstand g_x eines Gegenstand von der Auskopplungsoptik, hier das Ende einer Monomodefaser mit einem Kerndurchmesser B , sowie der Strahldurchmesser q_x der aus der Faser austretenden Strahlung auf dem Gegenstand bestimmbar ist. Für die Ermittlung des Strahldurchmessers q_x und des Abstands g_x wird eine erste Sammellinse im Abstand ihrer Fokusslänge h_1 nach dem Ende der Monomodefaser aufgestellt. Eine zweite Sammellinse mit einer Fokusslänge h_2 wird in einem Abstand g_1 der ersten Linse nachgeschaltet. Zur Ermittlung des Strahldurchmessers q_x und des Abstands g_x gelten die nachfolgenden Beziehungen:

für den Strahlquerschnitt $q_x = q_0 [1 + ((g_x - h_1 - g_1 - h_2)/z_0)^2]^{1/2}$

wobei $q_0 = B \cdot h_2/h_1$ und $z_0 = \pi q_0^2/\lambda_{LA}$ und λ_{LA} die Wellenlänge des "bearbeitenden"

Lasers ist

für den Abstand $g_x = h_1 + g_1 + h_2 + z_x$, wobei z_x der Abstand des gewünschten Strahldurchmesser von der Strahlaille q_0 ist. Die Einkopplung der Laserstrahlung λ_{LA} würde man ausgehend von einer Vorrichtung, deren Blockschaltbild Figur 1 zeigt, dort mit einem vor dem Strahlungsleiterende 16 eingebrachten Faserkoppler vornehmen. Das dortige Linsensystem ist dann durch die beiden oben genannten Linsen zu ersetzen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Messung optischer Eigenschaften transparenter und/oder diffusiver Gegenstände (18, 83, 97), insbesondere deren Reflexionsprofile, wobei der Gegenstand (18, 83, 97) mit einem Strahl (7', 55, 73, 96, 113, 114) bestrahlt wird, dessen Strahlung (λ_{Lc}) eine kleine Kohärenzlänge hat, ein erster Teil dieser ersten Strahlung (λ_{Lc}) in einen eine periodische optische Laufzeitänderung aufweisenden Referenzzweig (5, 72, 93, 110) selbstreflektierend eingestrahlt, eine vom Gegenstand (18, 83, 97) rückreflektierte zweite Teilstrahlung der ersten Strahlung (λ_{Lc}) mit der ersten Teilstrahlung interferierend überlagert, kohärent detektiert und ein von der periodischen Laufzeitänderung (v_{scan}) herrührender, eine erste Dopplerfrequenz ($f_{Doppler, Lc}$) enthaltender erster Signalteil (u_1) erzeugt wird eine zweite Strahlung (λ_{Hc}) mit gegenüber der ersten Strahlung (λ_{Lc}) grossen Kohärenzlängen in einen dritten und vierten Teilstrahl aufgeteilt, der dritte Teilstrahl mit einer zur ersten Teilstrahlung (λ_{Lc}) gleichen periodischen Laufzeitänderung (v_{scan}) beaufschlagt, ein reflektierter Strahlungsteil der dritten und vierten Strahlung (λ_{Hc}) interferierend überlagert, kohärent detektiert und ein von der periodischen Laufzeitänderung (v_{scan}) herrührender, eine zweite Dopplerfrequenz ($f_{Doppler, Hc}$) enthaltender zweiter Signalteil (u_2) erzeugt wird und aus dem ersten zusammen mit dem zweiten Signalteil (u_1, u_2) die optischen Eigenschaften ermittelt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Dopplerfrequenzen ($f_{Doppler, Lc}, f_{Doppler, Hc}$) des ersten und des zweiten Signalteils (u_2) aneinander angeglichen werden.
- 25 3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Dopplerfrequenzen ($f_{Doppler, Lc}, f_{Doppler, Hc}$) elektrisch, insbesondere unter Verwendung eines spannungssteuerten Oszillators (VCO) oder optisch, insbesondere unter Verwendung von Dispersion oder bevorzugt mittels zusätzlicher dispersiver Elemente im gemeinsamen Referenzzweig (5, 72, 93, 110) aneinander angeglichen werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die eine grosse Kohärenzlänge aufweisende zweite Strahlung (λ_{HC}) durch Wellenlängenselektion aus der eine kleine Kohärenzlänge aufweisenden ersten Strahlung (λ_{LC}) erzeugt wird.

5
10
15
20
25
5
10
15
20
25

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der den Gegenstand (18, 83, 97) bestrahlende Strahl (7', 55, 73, 96, 113, 114) diesen abscannend abgelenkt wird.

10
15
20
25
5
10
15
20
25

6. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 5 zur Messung optischer Eigenschaften transparenter und/oder diffusiver Gegenstände (18, 83, 97), insbesondere deren Reflexionsprofile, mit zwei gekoppelten Interferometern, wobei das erste Interferometer eine erste Strahlungsquelle (LC, S) mit kleiner Kohärenzlänge sowie einen kohärent detektierenden ersten Strahlungsdetektor (PA₁) aufweist und in seinem Messzweig (PC₁, L₂, 7, 7'; 55, 73, 80, 81, 82; 113, 114, 115) der Gegenstand (18, 83, 97) anbringbar sowie in seinem Referenzzweig (9, WDM, 11, L₁, 5'; 59, 72; 91, 93, 94; 110) eine optische Weglängenvariationseinheit (15, 79, 95) angeordnet ist und das zweite Interferometer eine zweite Strahlungsquelle (HC, S) mit gegenüber der ersten Strahlungsquelle (LC) grosser Kohärenzlänge sowie einen kohärent detektierenden zweiten Strahlungsdetektor (PA₂) aufweist und dessen einer Interferometerzweig (PC₂, 17, WDM, 11, L₁, 5'; 59, 72; 91, 93, 94; 110) ebenfalls die Weglängenvariationseinheit (15, 79, 95) enthält.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Kohärenzlänge der zweiten Strahlungsquelle (HC, S) der Differenz der optischen Weglängen zwischen dem anderen, die Weglängenvariationseinheit (15, 79, 95) nicht enthaltenden Interferometerzweig (23) des zweiten Interferometers und dem Messzweig (PC₁, L₂, 7, 7'; 55, 73, 80, 81, 82; 113, 114, 115) plus optischer Dicke des Gegenstands (18, 83, 97)

entspricht, damit bei der Messung keine störenden Echos weiterer Grenzflächen entstehen.

8. Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Weglängenvariationseinheit (15, 79, 95) derart ausgebildet ist, dass sich eine periodische, zeitlich ändernde optische Weglängenänderung zur Erzeugung von Dopplerfrequenzen ($f_{\text{Doppler, LC}}$, $f_{\text{Doppler, HC}}$) bei der Strahlung (λ_{HC} , λ_{LC}) der beiden Interferometer ergibt.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, gekennzeichnet durch eine Einheit (PLL, OA, PS, VCO) zur Angleichung der mit der Weglängenvariationseinheit (15, 79, 95) erzeugbaren Dopplerfrequenzen ($f_{\text{Doppler, LC}}$, $f_{\text{Doppler, HC}}$) der beiden Interferometerstrahlungen (λ_{HC} , λ_{LC}).
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass der die Weglängenvariationseinheit (15) nicht enthaltende Interferometerzweig ein wellenlängenselektives Filter (IF) oder einen wellenlängenselektiven Reflektor (115) enthält.
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und/oder die zweite Strahlungsquelle (LC, HC; S) sichtbare Strahlung emittiert, damit deren Strahlung zur Visualisierung des Messorts (18, 83, 97) verwendbar ist.
12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Strahlungsdetektor eine Detektoranordnung (125) mit mehreren nebeneinander angeordneten kohärent detektierenden Detektorelementen (Di) sowie eine Fokussiereinheit (143) zur Fokussierung der Strahlung in den Gegenstand (144) aufweist,

damit mehrere örtlich getrennte optische Signale gleichzeitig detektierbar sind, um ein zwei- bzw. dreidimensionales Tomogramm des Gegenstands (144) zu erhalten.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Strahlungsquelle mehrere örtlich voneinander getrennte Strahlungsquellen kleiner Kohärenzlänge hat, damit räumliche Reflexionseigenschaften des Gegenstands (144) ermittelbar sind.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die örtlich voneinander getrennten Strahlungsquellen kleiner Kohärenzlänge eine faseroptischen Strahlungsquelle ist, welche eine äussere Umhüllung (181), eine innere Umhüllung (179) sowie mehrere mit einem laseraktiven Material dotierte Faserkerne (177) hat, wobei eine Pumplichtstrahlung in der inneren Umhüllung (179) und die mit der Pumplichtstrahlung erzeugbare kurzkohärente Strahlung in den einzelnen Faserkernen (177) führbar ist.

1/6

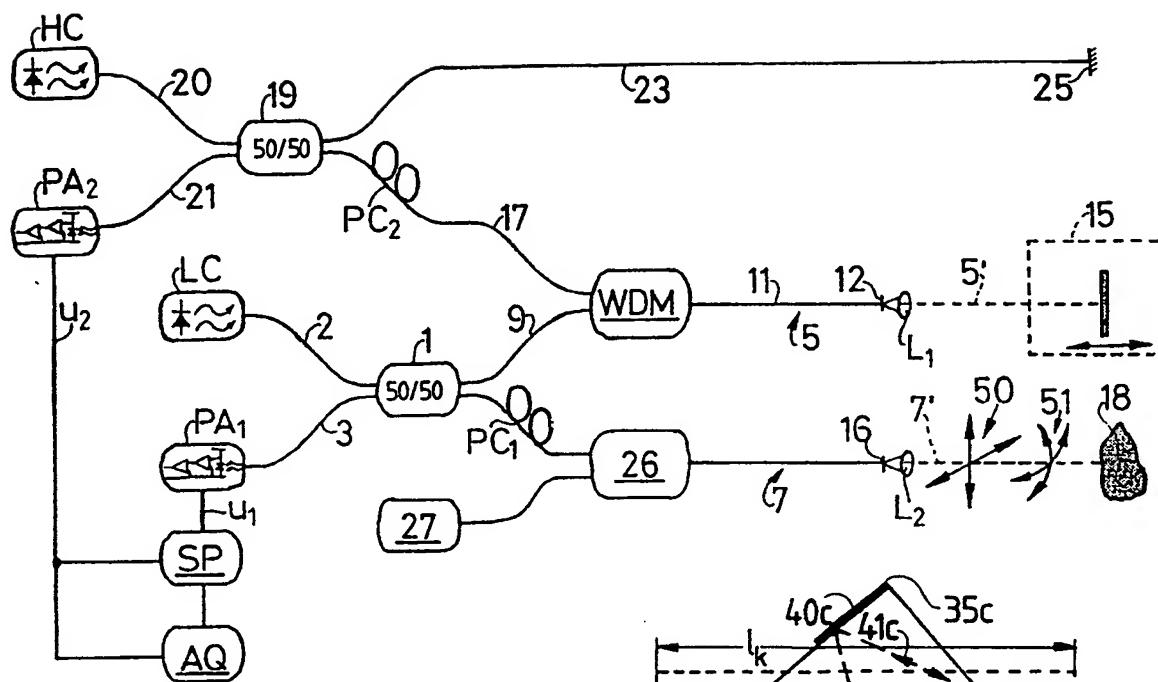


Fig. 1

Fig. 2

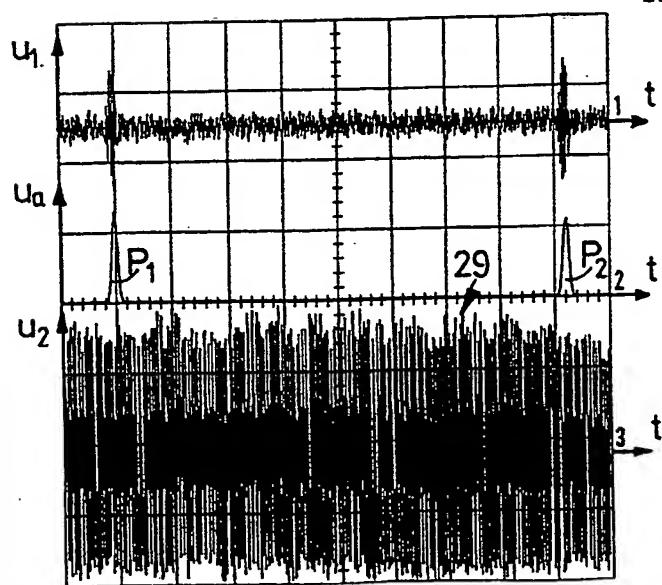
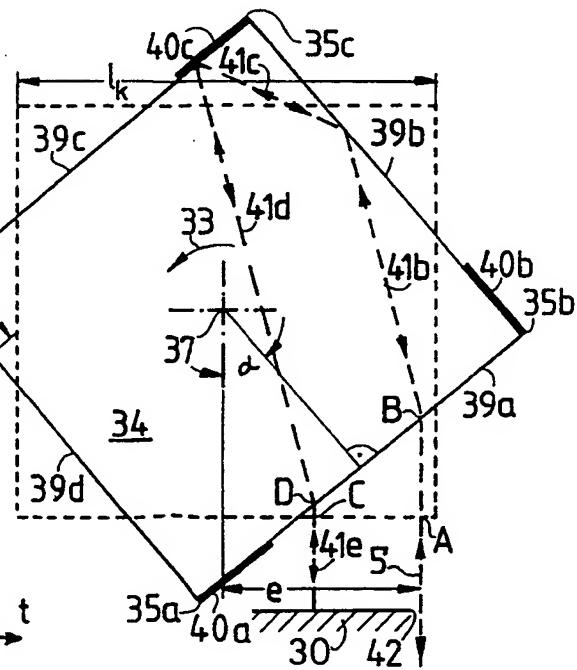


Fig. 5

2/6

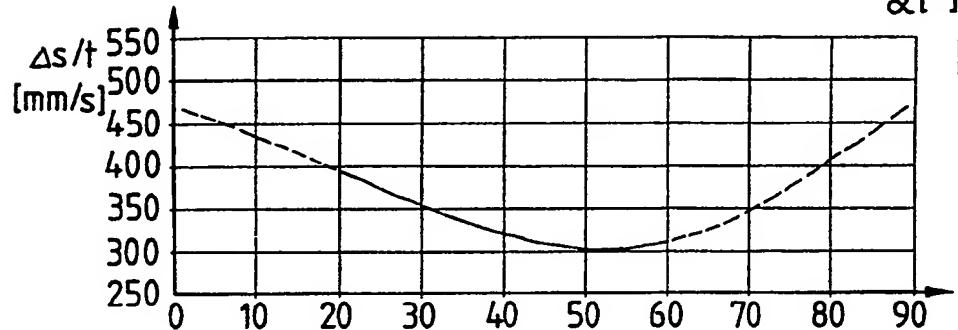
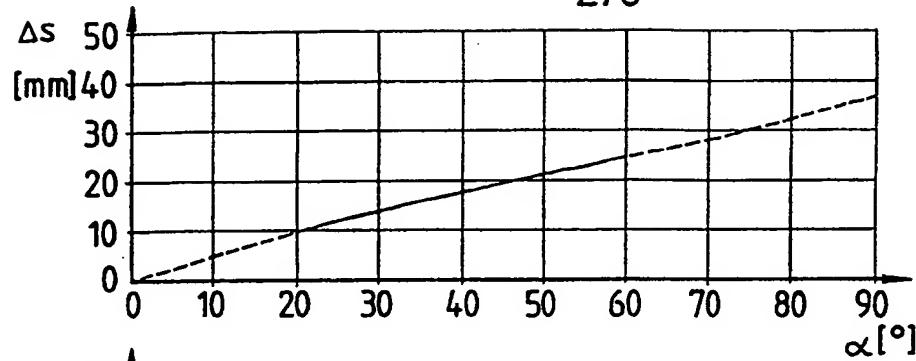


Fig. 3

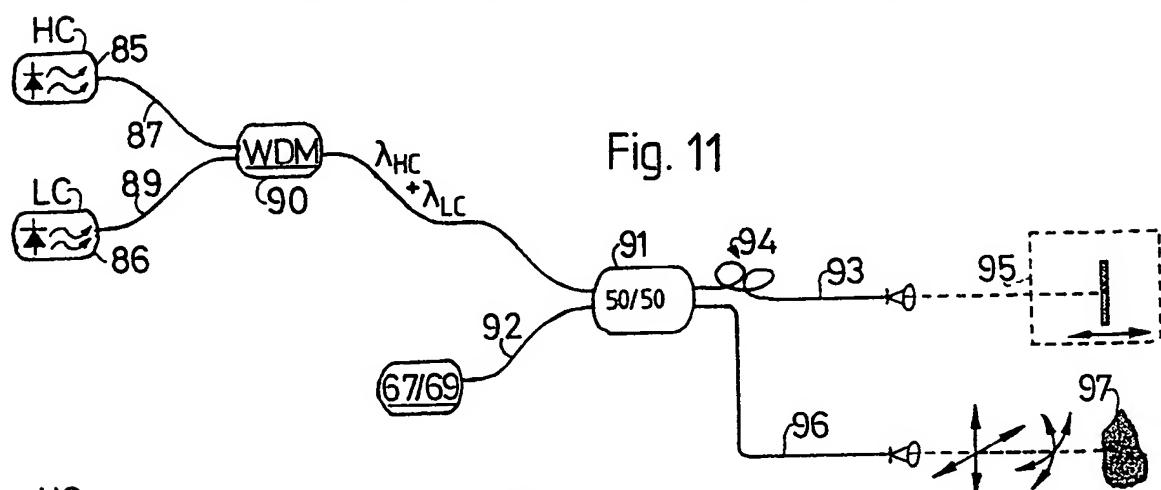


Fig. 11

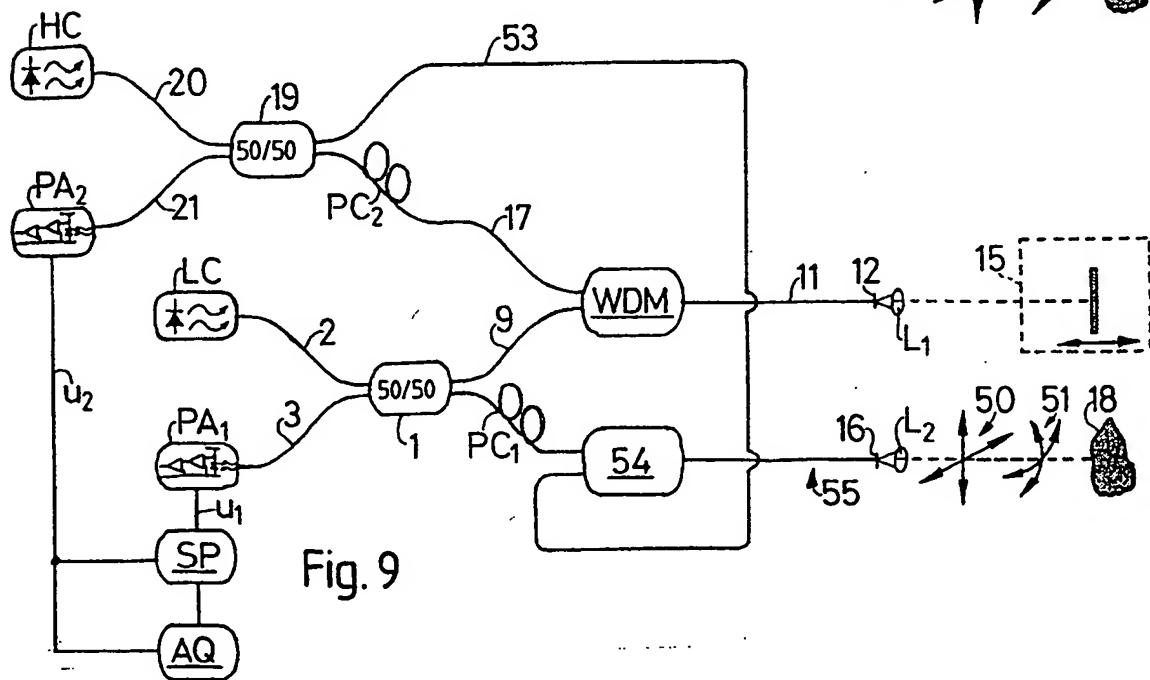


Fig. 9

3/6

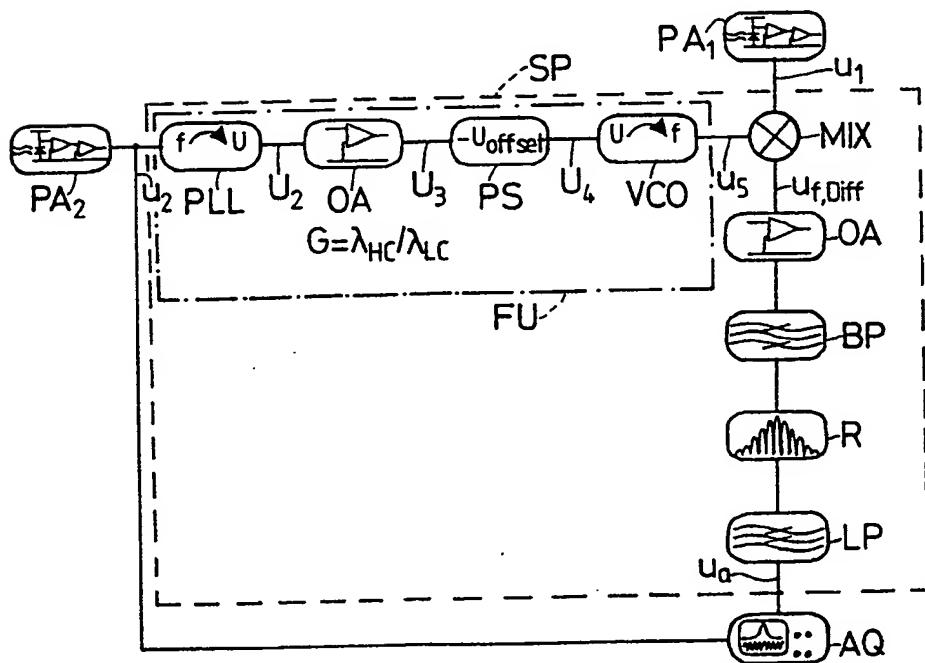
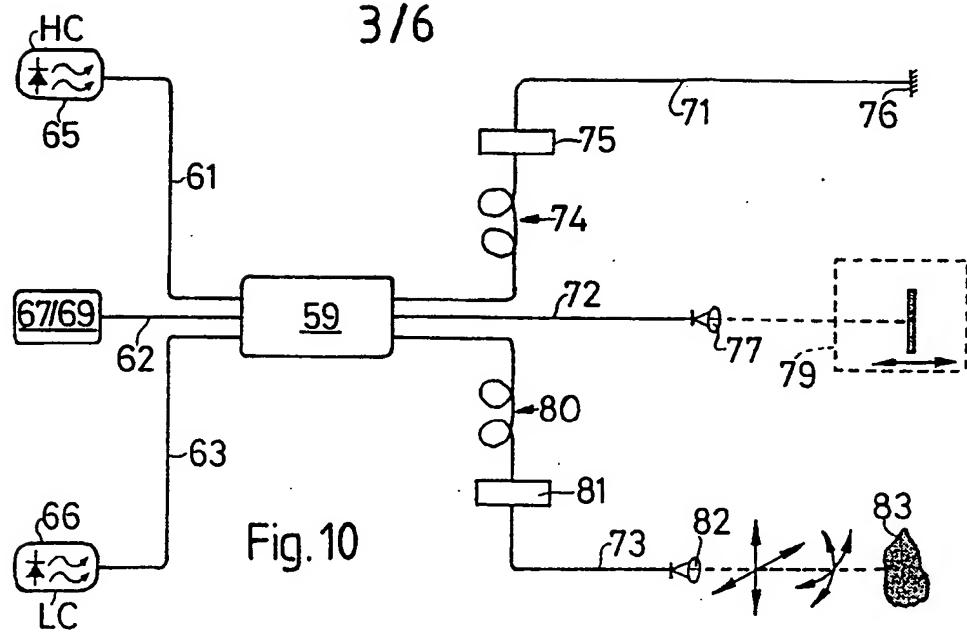


Fig. 12

4/6

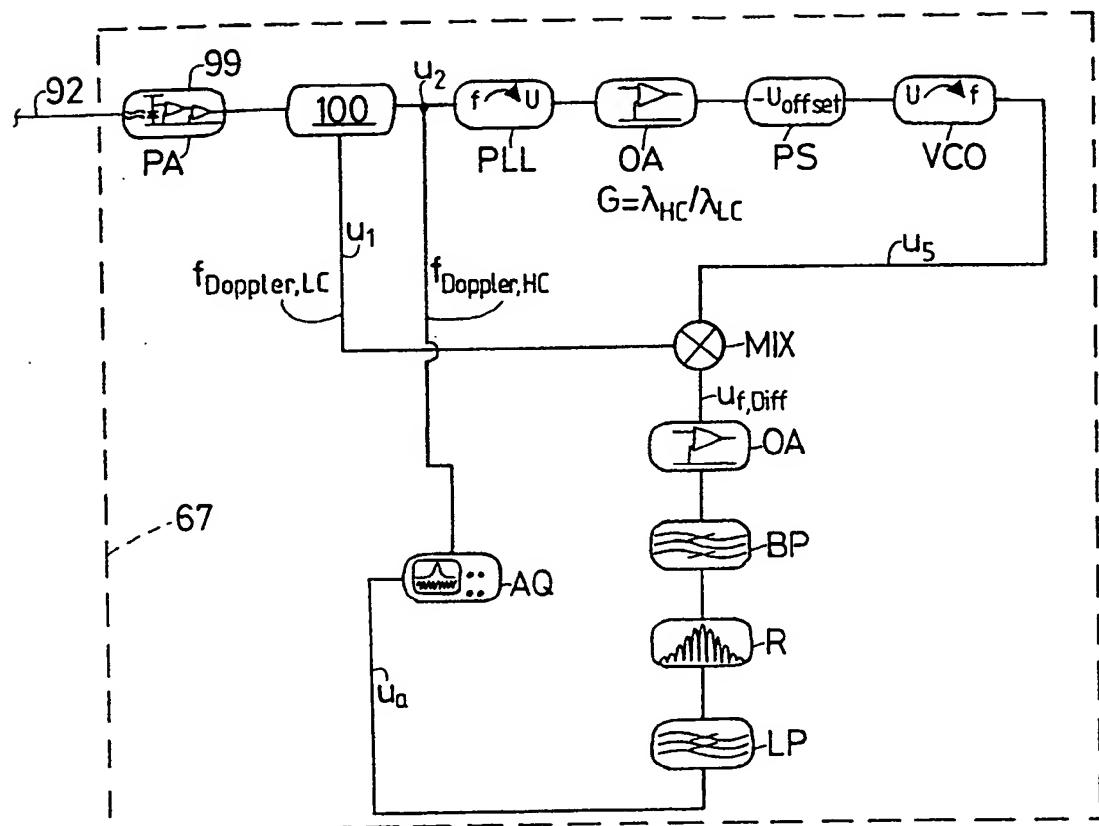
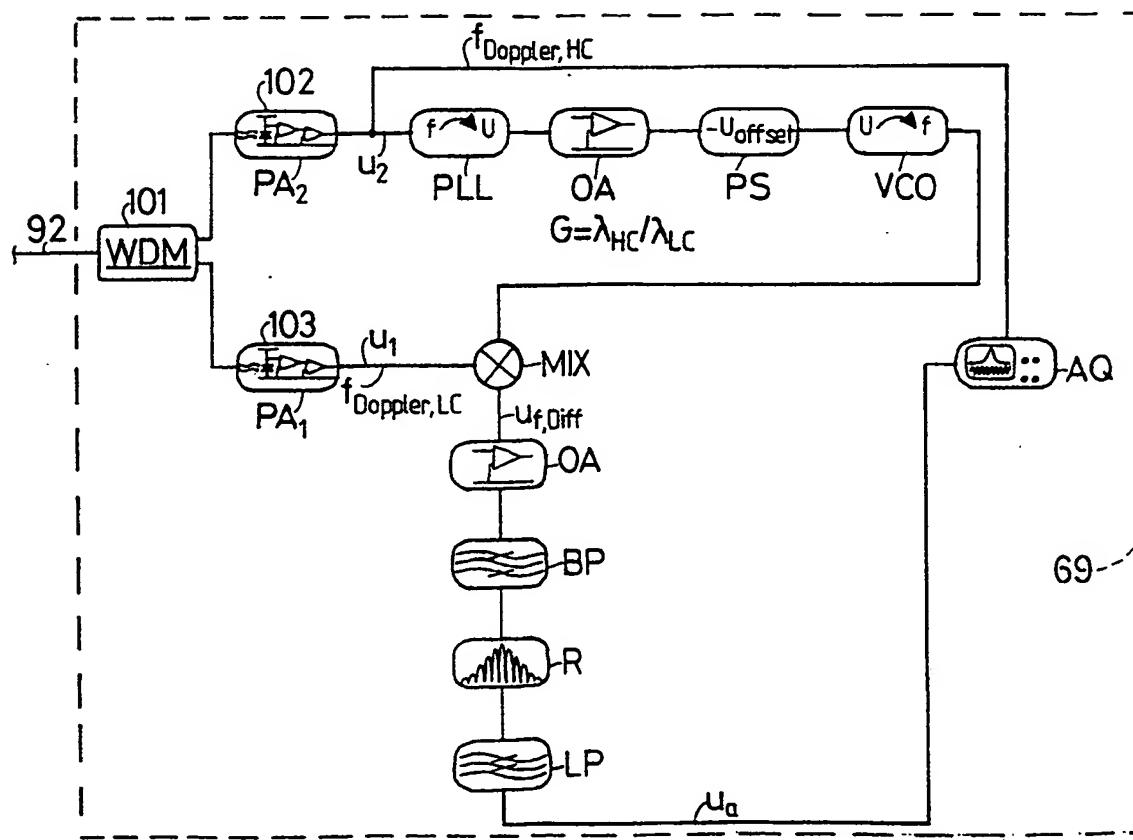
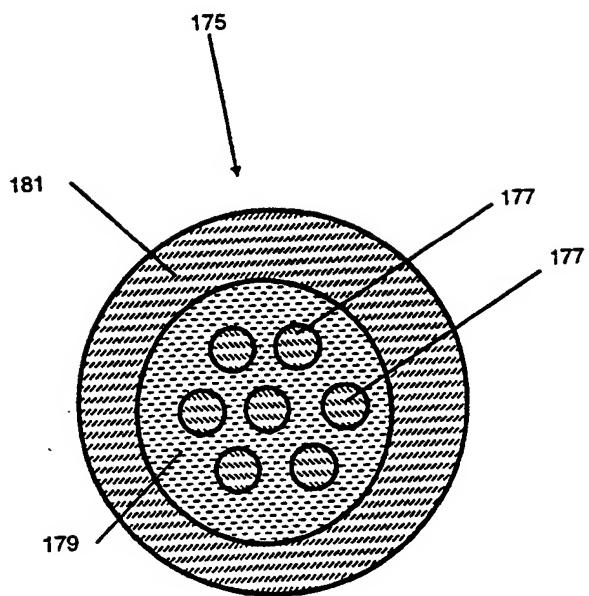


Fig. 13





5/6

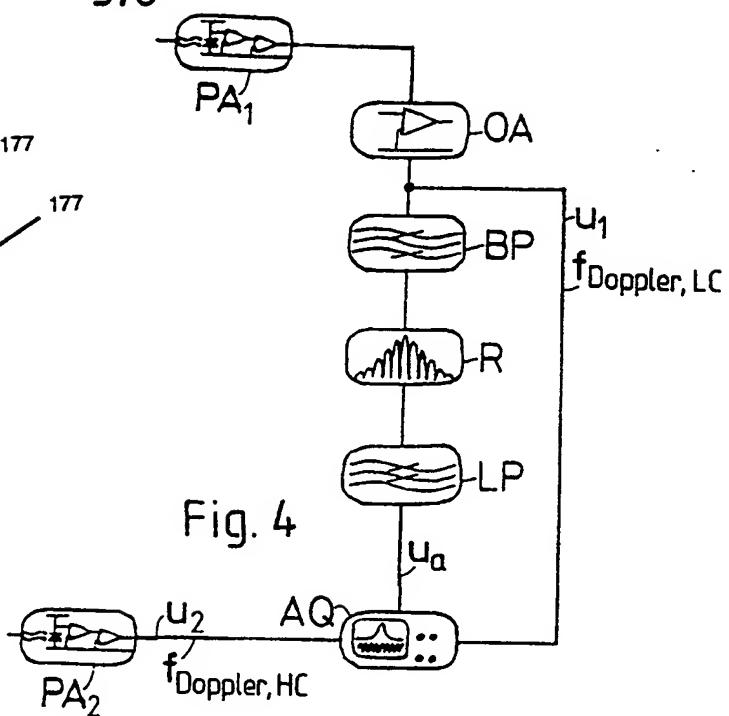
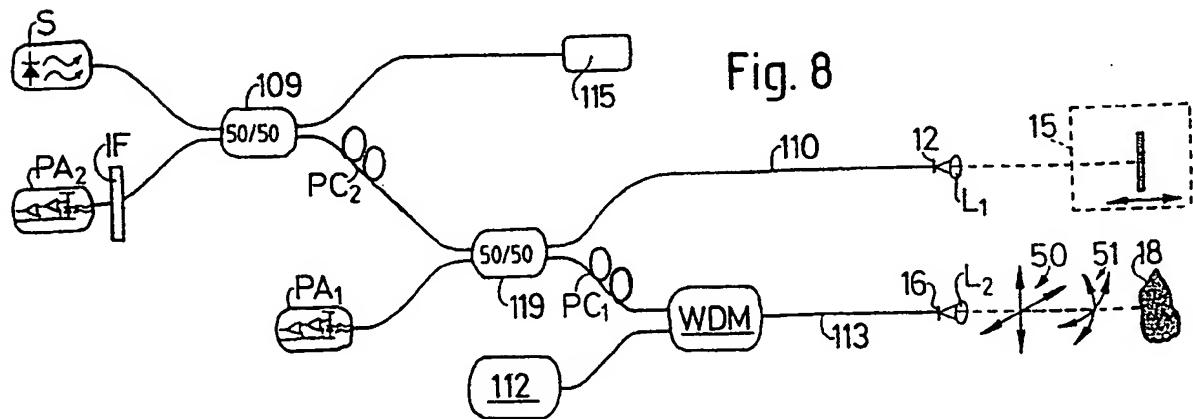
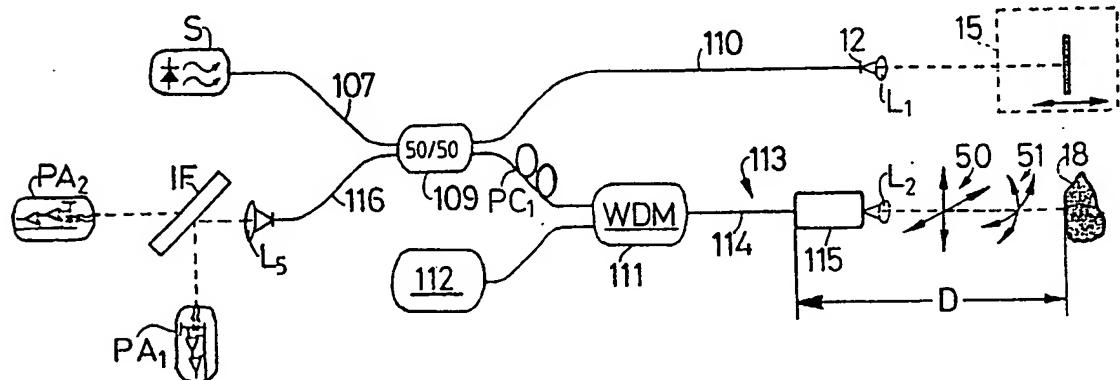


Fig. 7



6/6

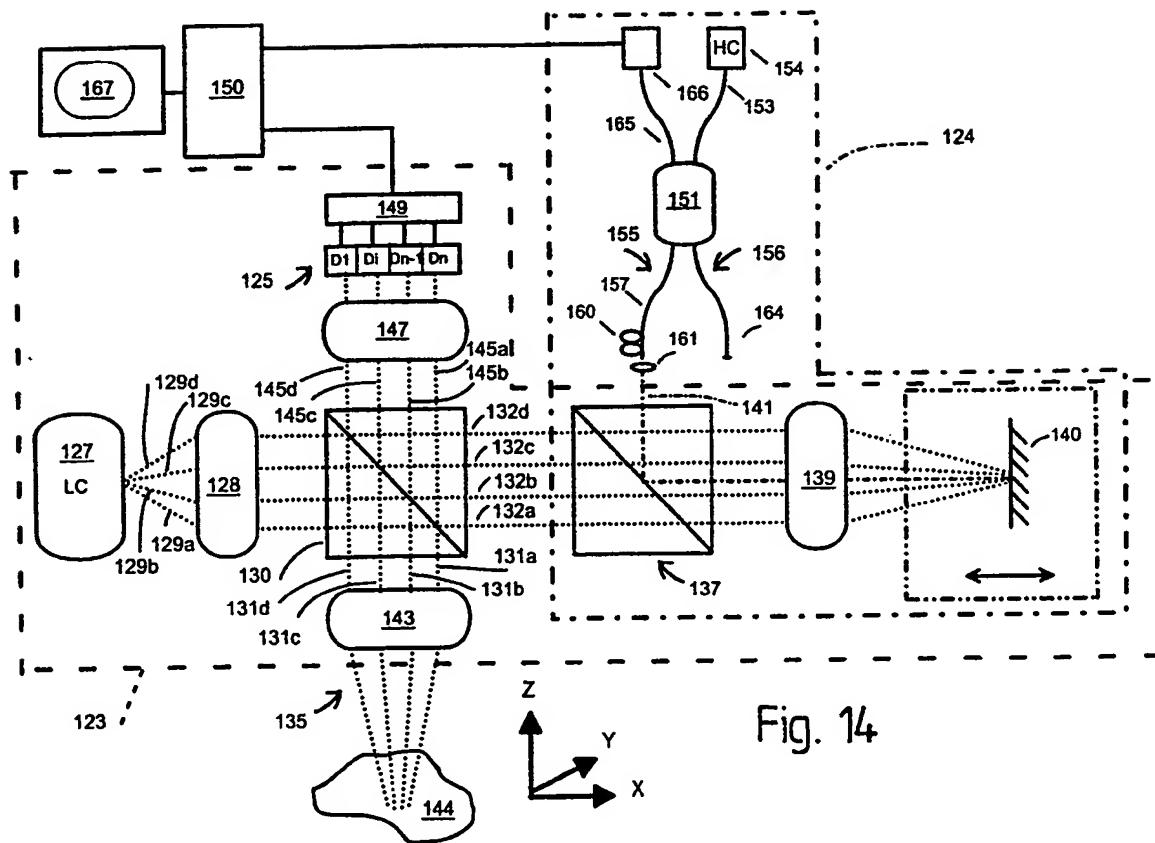


Fig. 14

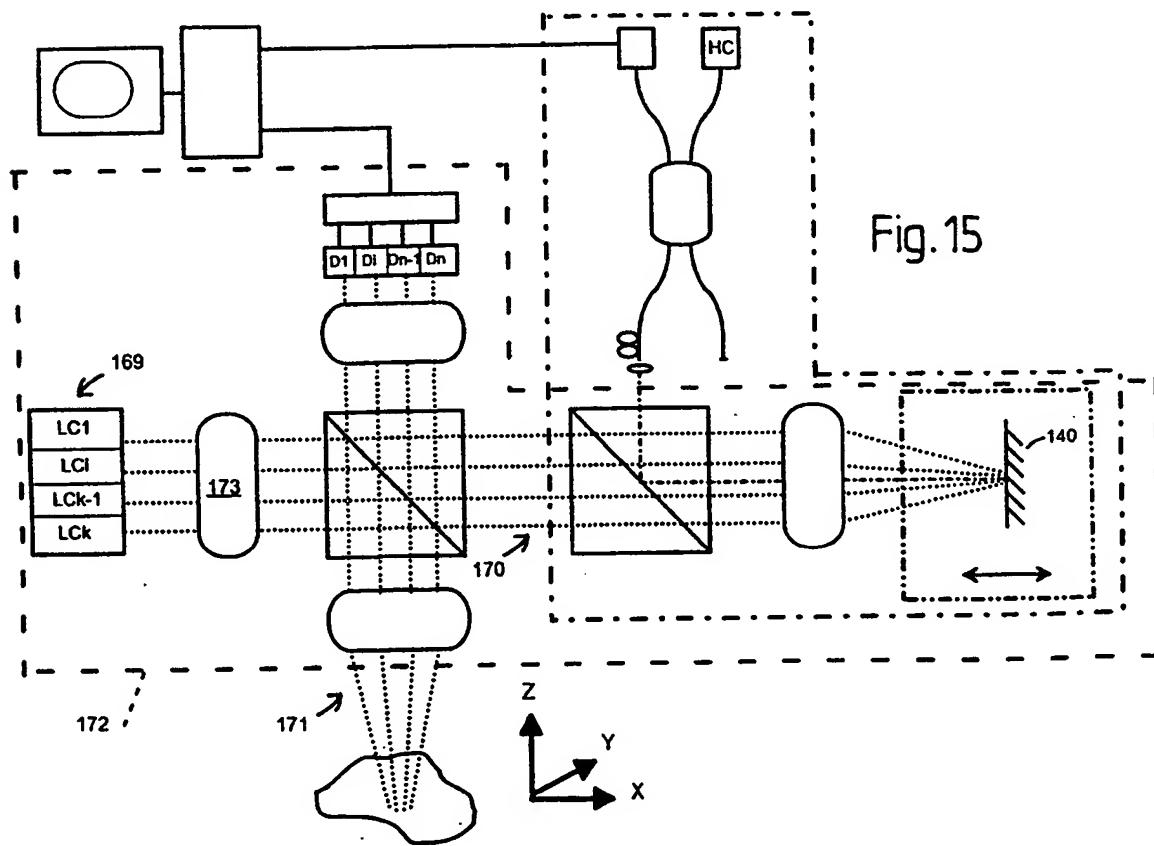


Fig. 15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

In International Application No

PCT/CH 98/00456

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 IPC 6 G01B9/02 G01N21/45

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 IPC 6 G01B G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 0 733 877 A (EASTMAN KODAK CO) 25 September 1996 see page 13, line 46 - page 15, line 2 see figure 16 ----	1,6,11, 12
Y	WO 96 35100 A (MERIDIAN AG ;CHAVANNE PHILIPPE (CH); SALATHE RENE PAUL (CH)) 7 November 1996 cited in the application see page 1, line 24 - page 2, line 27 ----	1,6,11, 12
A	US 4 869 593 A (BIEGEN JAMES F) 26 September 1989 see column 3, line 3 - column 4, line 35 ----	1,6
A	EP 0 137 946 A (PERKIN ELMER CORP) 24 April 1985 see claims 1-4 -----	1,6



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the International filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the International filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the International filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

14 January 1999

Date of mailing of the International search report

22/01/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patenttaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Krametz, E

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Int. Application No

PCT/CH 98/00456

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)			Publication date
EP 0733877	A 25-09-1996	US	5596409 A		21-01-1997
		US	5659392 A		19-08-1997
		CA	2169506 A		23-09-1996
		JP	8271219 A		18-10-1996
WO 9635100	A 07-11-1996	EP	0877913 A		18-11-1998
US 4869593	A 26-09-1989		NONE		
EP 0137946	A 24-04-1985	US	4787745 A		29-11-1988
		JP	60064202 A		12-04-1985

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

In internationales Aktenzeichen

PCT/CH 98/00456

A. Klassifizierung des Anmeldungsgegenstandes
IPK 6 G01B9/02 G01N21/45

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 6 G01B G01N

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	EP 0 733 877 A (EASTMAN KODAK CO) 25. September 1996 siehe Seite 13, Zeile 46 - Seite 15, Zeile 2 siehe Abbildung 16 ---	1, 6, 11, 12
Y	WO 96 35100 A (MERIDIAN AG ;CHAVANNE PHILIPPE (CH); SALATHE RENE PAUL (CH)) 7. November 1996 in der Anmeldung erwähnt siehe Seite 1, Zeile 24 - Seite 2, Zeile 27 ---	1, 6, 11, 12
A	US 4 869 593 A (BIEGEN JAMES F) 26. September 1989 siehe Spalte 3, Zeile 3 - Spalte 4, Zeile 35 ---	I, 6 -/-



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der Internationalen Recherche

14. Januar 1999

Absendedatum des Internationalen Recherchenberichts

22/01/1999

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentanlagen 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Krametz, E

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHTIn nationales Aktenzeichen

PCT/CH 98/00456

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 0 137 946 A (PERKIN ELMER CORP) 24. April 1985 siehe Ansprüche 1-4 -----	1, 6

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

In. nationales Aktenzeichen

PCT/CH 98/00456

im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
EP 0733877 A	25-09-1996	US	5596409 A	21-01-1997
		US	5659392 A	19-08-1997
		CA	2169506 A	23-09-1996
		JP	8271219 A	18-10-1996
WO 9635100 A	07-11-1996	EP	0877913 A	18-11-1998
US 4869593 A	26-09-1989	KEINE		
EP 0137946 A	24-04-1985	US	4787745 A	29-11-1988
		JP	60064202 A	12-04-1985

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.